



**Divulgación de nanotecnologías en España, Estados Unidos y México: cómo se involucra a la sociedad en la nueva ola científico-tecnológica**

**Tesis para obtener el grado de Doctor en Estudios del Desarrollo**

**Presenta: Miguel García Guerrero**

**Director: Dr. Guillermo Foladori**

**Codirector: Dr. James Cypher**

**Zacatecas, Zac. A 31 de agosto de 2016**

**Resumen.** Vivimos en un mundo caracterizado por la relación interactiva de ciencia y tecnología (CyT) con la sociedad: por un lado las primeras moldean la manera en que se produce, se trabaja y se vive; mientras que, de forma complementaria, las condiciones sociales influyen en el camino de los nuevos avances científico-tecnológicos. Esta interacción manifiesta el vínculo entre las diferentes organizaciones que buscan construir los avances en CyT y aquellas interesadas en obtener un beneficio de ellos; una relación de pugnas para definir la ruta a seguir. La aparición de una nueva tecnología de utilidad general, como las nanotecnologías (NT), ofrece oportunidades de desarrollo pero requiere personas y organizaciones informadas y activas para aprovechar las innovaciones emergentes como motor para mejorar las condiciones de vida de su sociedad. En este contexto la divulgación de la CyT desempeña un rol clave para la construcción social de las NT: influye en cómo los diferentes sectores sociales comprenden estos avances y se relacionan con ellos. El presente trabajo busca identificar la forma en que diferentes estrategias de divulgación de NT acercan a la sociedad a estas tecnologías emergentes en España, Estados Unidos y México, ya sea para ubicarlas como facilitadoras de participación social o simples herramientas de propaganda para la adopción de las nuevas tecnologías.

**Palabras clave.** Ciencia, Tecnología y Desarrollo; Comunicación de la Ciencia y Tecnología; Divulgación de Nanotecnologías; Construcción social de nanotecnologías; Aspectos sociales de las nanotecnologías.

**Abstract.** We live in a world characterized by the interactive relationship between science and technology (S&T) and society: on the one hand S&T shape the way people produce, live and work; whereas, in a complementary way, social conditions mold new scientific and technological advances. This interaction shows existing links between the different organizations seeking to profit from advances in S&T and those interested in deriving benefits from them; a series of struggle relations that define the path to follow. The emergence of a new general purpose technology, such as nanotechnologies (NT), may offer development opportunities but requires informed and active agents to take advantage of any emerging innovation as a means to improve the living conditions of their society. In this context the public communication of S&T plays a key role in the social construction of NT because it influences how different social sectors understand these advances and relate to them. This dissertation seeks to identify how different forms of public communication regarding NT try to bridge the gap between promoters of this emerging technologies and society in Spain, United States and Mexico, either to identify them as facilitators of a high degree social participation or merely as propaganda tools for the adoption of new technologies.

**Keywords.** Science, technology and development; Science and Technology Communication; Public communication of nanotechnologies; Social construction of nanotechnologies; Social issues of nanotechnologies.

Carta de aval de Directores de Tesis

Dr. Rodolfo García Zamora  
Director de la Unidad Académica de Estudios del Desarrollo

Dr. Humberto Márquez Covarrubias  
Responsable del Programa de Doctorado en Estudios del Desarrollo

Presentes.

Por este conducto hacemos constar que –en nuestro carácter de comité asesor- hemos supervisado el trabajo de investigación de Miguel García Guerrero, estudiante de la cuarta generación del Doctorado en Estudios del Desarrollo, con lo que aprobamos el presente documento y otorgamos nuestro aval para su defensa como tesis para que el alumno citado presente el examen para obtener el grado de Doctor en Estudios del Desarrollo.

Atentamente,  
Zacatecas, Zac. A 15 de junio de 2016

Dr. Guillermo Foladori  
Director de Tesis

Dr. James Cypher  
Co-Director de Tesis

## Índice de gráficas

1 Contexto institucional de estrategias	160
2 Perfil de formación del líder de la estrategia	161
3 Actividad principal del líder de la estrategia	162
4 Modelo de divulgación usado por estrategias de cada país	163
5 Aspectos relevantes abordados	163
6 Abordaje del tema de riesgos por país	164
7 Enfoques en que se presenta la información	165
8 Mirada principal de estrategias de divulgación por país	166
9 Modelo de divulgación usado en estrategias por año	167
10 Mirada adoptada por estrategias por año	168
11 Enfoque de divulgación en estrategias por año	169
12 Relación entre actividad principal de líderes y mirada de estrategias	169
13 Relación entre actividad principal de líderes y modelo de divulgación usado	170

## Índice de tablas

1.1 Elementos de Contexto de Matriz de Caracterización	14
1.2 Elementos de Forma de Matriz de Caracterización	15
1.3 Elementos de Contenido de Matriz de Caracterización	15
3.1 Avance de las nanotecnologías en el periodo 2000-2008	105
4.1 Características de población y territorio en España, Estados Unidos y México	120
4.2 Producto Interno Bruto per cápita en España, Estados Unidos y México	120
4.3 Inversión en Investigación y Desarrollo como porcentaje del Producto Interno Bruto	121
4.4 Investigadores en actividades de I+D por cada millón de personas	121
4.5 Producción por país de artículos sobre NT en Web of Science y patentes en la oficina de patentes de Estados Unidos (USPTO)	122
4.6 Distribución de inversión en NT por agencia gubernamental en Estados Unidos en 2013	123
4.7 Evolución de inversión federal de Estados Unidos en NT	123
4.8 Contexto de divulgación de NT en España, Estados Unidos y México	135
4.9 Estrategias de divulgación identificadas en los 3 países en los medios seleccionados	135
4.10 Estrategias de divulgación en el presente trabajo	136
5.1 Características cualitativas de estrategias de divulgación	157

## Contenido

Protocolo	7
1 Introducción: desarrollo, tecnología y periferia	17
1.1 Desarrollo y cambio institucional	17
1.2 El sendero adverso en México y América Latina	22
1.3 Intento de cambio: la industrialización por sustitución de importaciones	26
1.4 Del ajuste estructural a una nueva búsqueda de desarrollo	28
2 Marco Teórico	33
2.1 Ciencia, tecnología y comunicación	33
2.2 Ciencia, tecnología y capital	68
2.3 Ciencia, tecnología y sociedad	85
3 Las Nanotecnologías	98
3.1 Una pequeña historia de las nanotecnologías	98
3.2 Las NT: ¿Qué son y por qué son trascendentes?	103
3.3 Trascendencia de la divulgación de nanotecnologías	111
4 España, Estados Unidos y México: panorama para el estudio de divulgación de NT	120
4.1 Estados Unidos: el líder	122
4.2 España: avance de abajo hacia arriba	127
4.3 México: rumbo incierto	131
5 Resultados	139
5.1 Descripción cualitativa de productos	157
5.2 Análisis integral de estrategias	160
6 Conclusiones	171
7 Bibliografía	187

## Protocolo

La esencia del presente trabajo se encuentra en la importancia de enriquecer los avances científico-tecnológicos con una visión social para lograr una construcción de la ciencia y tecnología (CyT) con miras al desarrollo auténtico. No podemos limitarnos a abordar el tema desde la perspectiva de organizaciones aisladas, se requiere un abordaje sistémico de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad: reconocer cómo la interacción entre las diferentes organizaciones, con los límites de prácticas condicionadas por la estructura histórica y la dependencia de sendero, guía el avance de sistemas tecnológicos emergentes. A un nivel más profundo se busca tomar en cuenta que todos los procesos sociales, incluidos los de la CyT, se llevan a cabo en el contexto de una matriz institucional que -con elementos como normas, organizaciones, regulaciones, capacidades e incentivos- influye en el comportamiento de los diferentes actores.

En este contexto se deben considerar las profundas asimetrías presentes en los sistemas de relaciones entre organizaciones: el poder y la capacidad de acción de un grupo de grandes empresarios se encuentra en un nivel totalmente distinto al de movimientos sociales o sociedades científicas. Aun así existen pugnas por una mayor participación de diferentes sectores no expertos en las decisiones científico-tecnológicas que afectan a una sociedad, para que la CyT realmente ayuden a mejorar sus condiciones de vida.

Solo así, con una sólida participación que tome en cuenta los aspectos sociales de los nuevos paradigmas científico-tecnológicos, será posible que la CyT funcionen como motores de auténtico desarrollo. Esto implica estrategias de divulgación de la CyT que ayuden a los actores a aprehender los avances de frontera, con los diferentes aspectos que llevan relacionados, para poder incidir en su construcción social. Pero la divulgación no es neutra, su discurso lleva siempre una perspectiva que afecta la postura, y las estrategias, de las diferentes organizaciones frente a un tema específico.

Las nanotecnologías (NT) actualmente se ubican como una *Tecnología de Utilidad General* emergente (Youtie et al., 2008; Tsuzuki, 2009; Schultz y Joutz, 2010; Volder et al., 2013; McDermott, Will & Emery, 2014; ), con potencial para impactar profundamente en la economía y la sociedad. Los promotores de las NT (Smalley, 2005; Roco, 2011) señalan que con ellas se podrán resolver muchos de los grandes problemas de la humanidad pero también existen estudios que advierten de importantes riesgos de estos avances (Goldstein, 2010; Ngô y Van de Voorde, 2014). Entonces cobra gran relevancia el panorama que las estrategias de divulgación del tema le ofrecen a la sociedad y cómo estas pueden marcar la diferencia entre una participación social trascendente y meras acciones de propaganda.

## **Problema de Investigación**

La divulgación es una herramienta para construir representaciones sociales de la CyT con diferentes sectores del público no experto. Su labor consiste en recontextualizar conocimientos, prácticas, historia y tareas pendientes de la CyT, de forma que diferentes sectores del público lego<sup>1</sup> entiendan en qué consisten, cuáles son sus aspectos sociales y en qué se relacionan con sus intereses; ayudándoles a asumir una postura al respecto. El contenido y el enfoque de la divulgación están influidos por una postura social –consciente o inconsciente- que afecta la perspectiva de las personas con las que se discute un tema específico. Así la divulgación incide en las estrategias que emprenden personas y organizaciones, lo cual se vuelve especialmente sensible si los temas en cuestión son novedosos, disruptivos y esotéricos como ocurre con las NT. Este proyecto contempla un estudio comparativo internacional de las estrategias de divulgación de NT.

La presente investigación busca hacer una caracterización de cómo influye el contexto de las estrategias de divulgación de NT en la forma y el contenido de la comunicación que establecen con el público. De esta manera se podrá identificar la relevancia de la divulgación de las NT en la construcción social de estos avances con miras al desarrollo.

## **Objeto de Estudio**

El estudio que se llevó a cabo abarca estrategias de divulgación de NT en el periodo 2000-2013 en Estados Unidos, España y México que cuenten con el apoyo de una organización oficial, hayan surgido de una red de colaboración o se inserten en un proyecto más amplio de participación social. El periodo a estudiar se eligió de acuerdo al auge de estrategias nacionales para el desarrollo de las NT, con el compromiso de inversión que esto representó, y busca identificar la forma en que evolucionaron los programas para involucrar a la sociedad en el avance de esta ola científico-tecnológica. Específicamente se revisarán las estrategias realizadas a través de tres medios con formas distintas de incorporar a los diferentes sectores del público a la discusión sobre CyT:

a) Libros publicados con la participación de universidades, museos y organismos oficiales. Son un medio

---

<sup>1</sup> En términos generales se entiende por lego a una persona falta de instrucción científica, aquí le asignamos una acepción más específica al contemplar a los actores que no tienen formación especializada en el campo específico en discusión. Así, un experto de un campo puede ser lego en la discusión de otras áreas.

tradicionalmente asociado a una comunicación lineal y unidireccional, con un rol pasivo del lector en el proceso de comunicación, pero permiten profundizar en la información mucho más que con los otros medios. Bien planteados pueden convertirse en detonantes de interés y participación pública a partir de otros espacios, y pueden complementarse -en su proceso de concepción, redacción y revisión- con otras actividades, como conferencias y talleres, que permitan obtener retroalimentación de diferentes sectores del público para darle mayor pertinencia al material. Tienen el problema de un alcance limitado, por los tirajes impresos de los materiales, pero recientemente las versiones electrónicas les han dado nuevos canales de distribución.

b) Exposiciones interactivas y talleres recreativos en museos y centros de ciencias. La esencia de estas dinámicas está en la interacción de divulgadores y público en tres niveles: físico (con aparatos, juegos y experimentos), intelectual (con las ideas planteadas por los diferentes participantes) y emocional (con la relación entre las diferentes personas involucradas). Este tipo de actividades buscan la participación de las personas para tomar en cuenta sus intereses y preocupaciones en el desarrollo del proceso de divulgación. La ventaja de estas dinámicas se encuentra en la calidad de la experiencia para las personas involucradas y la posibilidad de ajustarse a las condiciones de diferentes sectores del público, produciendo un alto impacto, aunque el alcance de cada proceso es limitado; recientemente se ha buscado compensar este problema a través de la distribución de kits que buscan multiplicar los efectos de los talleres.

c) Videos documentales disponibles en el portal de internet *youtube*. Los videos son una poderosa herramienta de divulgación toda vez que tienen la posibilidad de combinar el discurso con imágenes y sonido para estimular a su público de forma más significativa y, con esto, conseguir un impacto mayor. En el pasado la posibilidad de ver un video se restringía a su transmisión por televisión, a la posesión del material o a su proyección en un espacio público. Ahora el portal *youtube.com* ofrece, como nunca antes, la posibilidad de acceder a un material de interés en cualquier momento y desde cualquier lugar con acceso a internet. Las condiciones de permanencia y disponibilidad le dan un alcance enorme a los materiales de este tipo; además, el mismo sitio - con complemento en redes sociales como *facebook* y *twitter*- ofrece la posibilidad de compartir y recomendar el video, expresar opiniones o hasta desarrollar discusiones al respecto, con lo que se genera toda una plataforma de discusión basada en las nuevas tecnologías.

Además, a reserva de que en el quinto capítulo se ahonda en las características relevantes de los tres países elegidos para el estudio, cada país cuenta con una justificación especial para su selección:

- a) Estados Unidos. Líder y pionero internacional en impulso a las NT, cuenta con varios proyectos específicos a escala nacional para la divulgación del tema.
- b) España. País con importante infraestructura y tradición en investigación de NT, que se ha reflejado en múltiples esfuerzos independientes para divulgar las NT, además de ser sede de una red internacional de divulgación del tema.
- c) México. País con una rica tradición de investigación en temas relacionados con las NT, cuenta con varios centros dedicados a este tema, pero carece de un proyecto nacional en la materia y sus esfuerzos de divulgación se realizan de forma aislada y desarticulada.

### **Preguntas de investigación**

**¿Qué tipo de participación se construye a través de la divulgación de NT?**

¿Qué organizaciones promueven, apoyan y realizan la divulgación de NT?

¿Qué tipo de mensaje se divulga sobre las NT?

¿Cómo incide el contexto sobre el modelo, enfoque y mensaje del divulgador?

### **Objetivos**

- 1) Identificar el contexto en que se realizan las estrategias de divulgación de NT en España, Estados Unidos y México.
- 2) Ubicar el modelo de divulgación de la CyT, la forma de pensamiento, el enfoque y los principales contenidos técnicos y sociales en los diferentes esfuerzos de divulgación.
- 4) Caracterizar el abordaje de riesgos-beneficios de las NT en las diferentes estrategias.
- 5) Identificar las organizaciones específicas que impulsan, apoyan y llevan a cabo las diferentes estrategias de divulgación de las NT.

### **Antecedentes**

Las nanotecnologías son un cúmulo de tecnologías estratégicas para el desarrollo en el siglo XXI, lo cual se refleja en que más de 20 países -encabezados por Estados Unidos- han establecido estrategias nacionales para la investigación en la materia; sin embargo, con todo y esta relevancia, las personas ajenas al campo tienen pocas oportunidades para acercarse al tema. Muy pocos países cuentan con un abordaje específico de

las NT en los niveles básico y medio de la educación formal; la información que la mayor parte de la sociedad recibe sobre el tema proviene de acciones de divulgación por diferentes medios. A partir de la información disponible muchas personas adoptan una perspectiva que se encuentra entre los extremos del espectro de opinión: concebir a estas tecnologías como una panacea o una razón para entrar en pánico. Al tratarse de un tema esencialmente esotérico, por el carácter abstracto de los conocimientos involucrados y la dificultad para asimilar la dimensión real del tamaño nano, el acercamiento de la sociedad a las NT se hace aún más complicado que en otros temas científico-tecnológicos: "la divulgación de la nanociencia y la nanotecnología a través de cualquier medio se mira compleja porque implica la comunicación de una gran cantidad de conceptos no manejados por el público, pero necesarios para su comprensión" (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011, p. 89).

Elzinga y Jameson (1995, p. 574) señalan que los divulgadores y líderes de opinión influyen los marcos conceptuales en que se discuten las políticas de la ciencia; el panorama que ofrecen no es neutral, cuentan con agendas propias que inciden en la imagen que proyectan de la CyT. De hecho, como indica Hilgartner (1990, p. 531) existe una "montaña" de evidencia que muestra que la forma en que los expertos simplifican la ciencia busca persuadir al público para apoyar sus objetivos.

Pero lo anterior está asociado a una forma específica de entender la divulgación, el modelo conocido como déficit: con flujos lineales y unidireccionales de información, para justificar decisiones que ya han sido tomadas y conseguir apoyo para el trabajo científico-tecnológico (Lewenstein, 1995, p. 349). Por otro lado el modelo interactivo contempla a las personas no especializadas como participantes activos del proceso de comunicación (Einsiedel, 2008, p. 175), un público al que se debe escuchar, con aportes significativos para la construcción de conocimientos y para las políticas científico-tecnológicas. Estos últimos planteamientos se han convertido en una nueva forma de entender los procesos de comunicación para acercar la CyT a la sociedad, en busca de participación social y legitimidad para las políticas científico-tecnológicas en los países centrales (Lock, 2011, p. 27). En contraste, los países periféricos presentan una realidad muy distinta: la investigación sobre divulgación reconoce la trascendencia de la interacción pero la dinámica del modelo de déficit sigue prevaleciendo en la mayoría de las prácticas de divulgación, con muy pocos espacios para que organizaciones sociales puedan involucrarse en la definición del rumbo de la CyT.

### **Argumento principal**

La ruta para el avance de las tecnologías de utilidad general (TUG), como las NT, normalmente es resultado de pugnas entre intereses sectoriales: tienen una gran influencia de la industria y el gobierno, mientras que históricamente el aporte de movimientos sociales es débil. En las últimas décadas ha habido una creciente discusión sobre la necesidad de que los trabajadores y consumidores participen, a la par de otras organizaciones, en la determinación de la trayectoria de las tecnologías emergentes. Empero, los roles de las diferentes entidades son muy distintos toda vez que existen marcadas asimetrías en el poder que ejercen: unos actores ofrecen las bases científicas para desarrollar una nueva tecnología, otros otorgan apoyos para hacerla viable, los más poderosos definen la forma específica que tendrá una innovación, la mayoría se limita a decidir si la adoptan o no, y unos pocos que buscan incidir en los aspectos sociales del avance en cuestión. Las estrategias de divulgación son herramientas de poder en la medida que influyen en las representaciones sociales de las NT, en la forma en que diferentes sectores las entienden; se afecta así la postura y las estrategias de las diferentes organizaciones, incorporándolas así a los intereses de sectores específicos.

Los divulgadores de las NT realizan su labor en el marco de un contexto específico y con la influencia de aquellas entidades que pueden aportar un beneficio directo para sus proyectos personales o de sus organizaciones. En estas condiciones aparecen caminos contrapuestos para el trabajo de divulgación: una primera ruta orientada a la participación de diferentes sectores que tienen la oportunidad de opinar para moldear el camino a seguir con respaldo y legitimidad social; en segunda instancia está una herramienta de propaganda para adoptar avances que ya han sido definidos, la cual no satisface los intereses de los actores y las organizaciones que buscan conocer, comprender, discutir y hasta moldear el avance de las NT.

### **Hipótesis**

Al hacer a un lado los aspectos sociales de las nanotecnologías, para centrarse en un abordaje técnico del tema, las estrategias de divulgación fomentan una discusión optimista que refuerza rutas científico-tecnológicas definidas previamente. Así, la divulgación se convierte en una herramienta de propaganda funcional a los intereses de la industria y ajena a una verdadera participación social.

## **Perspectiva Teórica**

Para ubicar la función social y la relevancia de la CyT, así como de su divulgación, se aborda el desarrollo desde una perspectiva de cambio institucional fundamentada en el trabajo de Veblen (1919), Myrdal (1968) y Stein (2008), que se complementa con el trabajo de Furtado (1974), dos Santos (1973), Cypher (2007, 2014) y Sunkel (2009) para ofrecer un panorama del caso de los países periféricos.

En base al aporte de los autores más relevantes en comunicación pública de la CyT, (Lewenstein, 1995; Durant, 1999; Alcívar, 2004; Einsiedel, 2008) se elabora un perfil del rol de la divulgación en la construcción social de un sistema científico-tecnológico emergente y el trabajo de Gramsci (2009) sirve para ubicar a la divulgación como herramienta de hegemonía. Así se busca contar con herramientas para analizar la relación entre el contexto de los divulgadores y las características de las estrategias que llevan a cabo.

Para ofrecer un panorama más amplio se aprovecha el aporte de los principales modelos de análisis de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS): el triángulo de Sábato (Sábato y Botana, 1968) y los Sistemas Nacionales de Innovación (Lundvall, 2007; Freeman, 2012) que se complementarán con la propuesta más reciente de los Sistemas Sociales de Ciencia y Tecnología (Olivé, 2007). Este abordaje implica una visión de la interacción de organizaciones como base para la construcción de instituciones y trayectorias que definen el avance de los sistemas científico-tecnológicos emergentes.

## **Conceptos centrales**

Divulgación de la CyT, Construcción social de la CyT, Tecnologías de utilidad general, Relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, Aspectos sociales de las NT, Divulgación de NT.

## **Estrategia metodológica**

Para entender la postura que los actores y las organizaciones asumen frente al avance de las NT, en diferentes sociedades, es importante tener un panorama de las características de los procesos de divulgación para cada caso. Esto implica un análisis en varios niveles:

1. Contexto. Implica las condiciones en las que se desarrolló la estrategia para acercar las NT al público: las condiciones nacionales de las NT, el perfil de las organizaciones y los actores involucrados, la forma en que participaron y los objetivos que guiaron la estrategia.

2. Modelo de divulgación utilizado. La forma de abordar el proceso de divulgación, en tanto al rol que se le asigna al público involucrado.
3. El enfoque de la información. Análisis del manejo retórico de la información, la perspectiva específica que se ofrece sobre las NT.
4. Contenido. Relación de los elementos técnicos que caracterizan a las NT y los aspectos sociales asociados a ellas, con especial atención a la participación social en la definición de la ruta de estos avances y al tema de riesgos/beneficios.

A partir de estos elementos se construyó una matriz orientada a capturar los datos recabados por el estudio y darles una mayor estructura para buscar relaciones causales entre el contexto en que surgieron las estrategias de divulgación de las NT y sus características fundamentales. Esto implicó un abordaje integral de los casos, complementando el análisis de los materiales producidos con entrevistas a los líderes de las diferentes estrategias. Al sistematizar la información se buscó establecer tendencias para identificar las características en cada país, en los diferentes medios de divulgación o bien a partir de otros elementos de contexto. A continuación se detallan los elementos considerados en los diferentes aspectos de la matriz.

Tabla 1.1 Elementos de Contexto de Matriz de Caracterización

<b>1. ¿Qué organización promovió, apoyó y realizó la estrategia de divulgación?</b>		
Perfil	Colaboraciones (Académicas/Comerciales)	
<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>	<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>	
<b>2. ¿Quién es el autor o líder del proyecto?</b>		
Perfil de formación	Adscripción	Labor principal
<b>Ciencias Básicas (1), Ingenierías (2), Ciencias Sociales (3), Otro (4)</b>	<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>	<b>Investigación (1), Docencia (2), Divulgación (3), Administración (4), Otra (5)</b>
<b>3. ¿Cómo llegó al público el material (perfil de organizaciones involucradas)?</b>		
Base institucional	Financiamiento	Distribución
<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>	<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>	<b>Educativa (1), Gubernamental (2), Empresa Privada (3), ONG (4), Otro (5)</b>

**Tabla 1.2 Elementos de Forma de Matriz de Caracterización**

<b>4. ¿A qué nivel de formación se dirige el esfuerzo?</b>				
Secundaria	Preparatoria	Universitario	Público en General	
<b>5. ¿Cuáles son sus objetivos educativos?</b>				
Vocacional científico	Formación fuerza de trabajo	Alfabetización		
<b>6. ¿Cuál es el modelo de divulgación utilizado?</b>				
Déficit		Diálogo		
<b>7. ¿Qué recursos se usan como apoyo didáctico?</b>				
Gráficas	Dinámicas compl.	Analogías	Ejemplos	
<b>8. ¿Cuál es el enfoque de la narrativa en la estrategia de divulgación?</b>				
Utopía	Avance posible	Riesgo genérico	Regulación	Conflicto

**Tabla 1.3 Elementos de Contenido de Matriz de Caracterización**

<b>9. ¿Qué elementos técnicos de las nano se abordan?</b>			
Dimensión	Efectos cuánticos	Microscopía	Aplicaciones
<b>10. ¿Qué información relevante se aborda?</b>			
Historia	Aspectos sociales	Líneas de trabajo	Investigación local
<b>11. ¿Qué ventajas se le atribuyen a las nanociencias y nanotecnologías?</b>			
Avance del conocimiento	Mejora de productos	Nuevos productos	
<b>12. Según la estrategia ¿A qué necesidades responden los avances de las nano?</b>			
Sociales	Industriales	Académicas	Gubernamentales
<b>13. ¿Aborda los riesgos de las nano? ¿Qué sectores de riesgo se ubican?</b>			
Trabajadores	Consumidores	Medio ambiente	Empleo
<b>14. ¿Se abordan medidas de protección? ¿Cuáles?</b>			
Equipo de protección	Etiquetas en productos	Manejo de residuos	Principio de Precaución
<b>15. ¿Se discute la existencia/necesidad de regulaciones? ¿Cuáles?</b>			
Responsabilidad del productor	Investigación precautoria	Registro de productos	

### **Estructura del Trabajo**

El primer capítulo de este documento, que aquí concluye, contempla la introducción y el protocolo de investigación del trabajo. El segundo capítulo ofrece un panorama de la ciencia y tecnología en el contexto del desarrollo. El tercero representa el marco teórico de la investigación y se distribuye en tres apartados fundamentales: ciencia, tecnología y comunicación, con un panorama general de qué son la CyT para luego realizar un abordaje más detallado de su divulgación y finalizar con un análisis del caso de la biotecnología, que muchos marcan como un referente obligado para la divulgación de NT; ciencia, tecnología y capital,

revisa la forma en que el sistema capitalista ha estimulado la creciente integración entre CyT y como los productos de este “matrimonio” influyen cada vez más en la forma en que se produce y se vive; finalmente, ciencia, tecnología y sociedad aborda los principales modelos de análisis de las relaciones entre los diferentes agentes que dan forma al avance de la CyT y, con él, a buena parte del desarrollo en la actualidad. El cuarto capítulo se dedica a una caracterización general de las NT: cómo surgieron, qué son, cuál es su trascendencia y por qué es importante su divulgación. El quinto apartado ofrece un panorama general de los tres países que son abordados en el estudio, partiendo de sus sistemas de innovación, el trabajo de investigación en NT y la divulgación que llevan a cabo. En el sexto capítulo se abordan los resultados del estudio realizado a 50 estrategias de divulgación de NT en España, Estados Unidos y México. Por último, en el séptimo apartado se plantean las conclusiones obtenida con la investigación.

## **1. Introducción: desarrollo, tecnología y periferia**

### **1.1 Desarrollo y cambio institucional**

Nuestro mundo está caracterizado por el cambio: lo encontramos en la dinámica interna de los grupos humanos, en la forma en que unas organizaciones (y sociedades) se relacionan con otras y hasta se observa en el Universo a nuestro alrededor, a la par de la forma en que lo entendemos y aprovechamos. Si deseamos comprender las condiciones de una sociedad resulta esencial analizar sus procesos de cambio, presentes e históricos: quién los promueve, cuáles son sus objetivos y quiénes se ven beneficiados o afectados por estos cambios. Todo cambio lleva implícita esta dualidad entre los actores que se verán beneficiados y quienes verán afectados sus intereses, lo cual nos obliga a usar una “lente” amplia para su análisis.

Al abordar la sociedad en su conjunto, Myrdal (1968, p. 42) propone contemplar los factores que interaccionan para crear un sistema de causalidad que se auto-sustenta y reproduce: los cambios en un factor social afectan el rumbo de otros aspectos, detonando un proceso de cambio acumulativo. En principio existe una tendencia a la continuidad de la estructura existente en una sociedad y solo a partir de la emergencia de fuerzas –endógenas, exógenas o una combinación de ambas- se presentan situaciones que dan lugar a la transformación social. En esta tónica, asumimos que el abordaje del desarrollo debe trascender lo económico para tomar en cuenta una perspectiva mucho más amplia. Retomamos así la visión de varios autores (por ejemplo Furtado, 1974, p. 88) que entienden el desarrollo como la combinación de cambios sociales de una población que la hacen capaz de mejorar, cumulativa y duraderamente, sus condiciones de vida.

Para hacer posibles tales transformaciones, es necesario identificar las barreras y los catalizadores para el cambio de una sociedad (Malik, 2002, p. 24). Se debe comprender el contexto de estructura, acción e interacción en que se encuentran inmersas las personas y organizaciones; aspecto en el que el abordaje institucional puede ser de gran utilidad:

“En el núcleo de la matriz institucional se encuentran los hábitos de pensamiento comunes a la mayoría de hombres y mujeres. Para los propósitos del desarrollo, la transformación institucional debería enfocarse en generar nuevas formas de comportamiento colectivo

orientado a mejorar la calidad de vida generalizada de la población de un país. Los subcomponentes de la matriz interaccionan unos con otros y, en consecuencia, tienen el potencial de cambiar el comportamiento humano que se encuentra en el centro de la matriz. El cambio institucional implica la creación de un nuevo conjunto de instituciones que sirvan de base para un nuevo orden económico y social” (Stein, 2008, p. 112)

Las ideas de Stein colocan a las instituciones en el centro del escenario del desarrollo, lo cual nos obliga a establecer una definición precisa para este concepto clave. Para Veblen (1919, p. 239) las instituciones son hábitos de pensamiento comunes a la generalidad de las personas; son construcciones socio-culturales internalizadas por los individuos y que moldean al mismo tiempo la forma en que perciben su realidad y el modo en que interaccionan con ella. Pero no debe quedar aquí una idea completamente etérea para este concepto, ya que una institución puede materializarse a través de elementos como las estructuras de gobierno, el sistema bancario, la industria y las tecnologías.

Como señala Stein (2008, p. 122), las instituciones son integrales para la dinámica humana que conecta el pensamiento con los procesos de cambio y le permite a las personas transformar sus actividades. La clave para el desarrollo, entonces, radica en construir nuevos hábitos de pensamiento –cambios de ideología dentro de un contexto socio-histórico específico- que permitan a las personas transformar las relaciones sociales y la estructura productiva con la intención de mejorar las condiciones generales de vida en su sociedad. Y todo esto implica una estructura que toma forma a través de una matriz institucional con cinco componentes - organizaciones, normas, regulaciones, capacidades e incentivos; cada uno de ellos ejerce un efecto en los demás y se ve afectado a su vez por un comportamiento correlacionado (Stein, 2008, p. 125). Para proceder en nuestro análisis aprovechamos el trabajo del propio Stein (Íbid, p. 125-140) para caracterizar los 5 componentes de la matriz:

1) Organizaciones. Son entidades constituidas socialmente alrededor de un propósito común, y se encuentran integradas dentro de una red de normas, reglas y creencias. Las organizaciones están ligadas espacial y temporalmente al ambiente local -respondiendo a sus condiciones, interpretaciones y expectativas- pero al mismo tiempo cuentan con su propia dinámica interna.

Con frecuencia, en otros abordajes conceptuales, se habla de instituciones como si fueran

organizaciones. Es importante destacar aquí la diferencia entre ambas: las instituciones, como hábitos mentales y sociales, moldean a las organizaciones y los entramados de relaciones que forman. Cabe recordar que la acción e interacción de las organizaciones puede dar lugar a cambios institucionales; así se establece una interrelación entre las organizaciones que reproducen los hábitos y las que luchan por transformar las instituciones en las que están insertas.

2) Normas. Se trata de guías de comportamiento, establecidas socialmente, en relación a lo que se espera, se requiere o se acepta en un contexto dado. Stein (2008, p. 127) destaca que, en términos del trabajo de Veblen, las normas ofrecen beneficios económicos como la coordinación o la cooperación pero en esencia se relacionan con la identificación de grupo, la posición social y el valor propio. Representan construcciones culturales, con gran influencia del contexto de cada caso, que se siguen por temor a la exclusión y falta de estima.

3) Regulaciones. Establecen los límites legales a través de los límites de operación en las economías. Son parte del orden legal que define normas y reglas, así como las sanciones que las hacen cumplir. Se establecen como instrumentos fundamentales para definir, iniciar, sostener y transformar las instituciones; su mayor importancia radica en el poder que tienen para impulsar una transformación institucional deliberada. La definición de regulaciones, entonces, es un punto fundamental en el que las organizaciones con mayor poder pueden pugnar para incidir de forma explícita y directa en el comportamiento de la matriz. Por ejemplo, el fortalecimiento del sistema de patentes -promovido por las corporaciones transnacionales y los organismos internacionales-, se convirtió en un importante mecanismo para proteger los intereses de las empresas a través del derecho exclusivo de explotación de las innovaciones tecnológicas.

4) Capacidades. Implican las aptitudes de los actores -individuos y organizaciones- para operar de forma efectiva en busca de alcanzar sus objetivos en el marco de sus reglas y propósitos. Si hablamos de cambiar la capacidad para el desarrollo debemos centrarnos en mejorar o transformar la habilidad de los actores para establecer y conseguir sus metas de forma efectiva, eficiente y sustentable (Malik, 2002, p. 23). La construcción de capacidades no puede verse como construir un nuevo edificio a partir de planos externos sino como el esfuerzo de entender las estructuras existentes para que se puedan adaptar, rehabilitar y expandir (Íbid, p. 137).

5) Incentivos. Representan las recompensas y castigos que se establecen en relación a diferentes

formas de comportamiento. Aunque no están presentes de forma explícita en las regulaciones se constituyen en estímulos, *de facto*, para prácticas específicas que refuerzan la matriz institucional y aportan al proyecto de desarrollo.

Como señalamos anteriormente, los cinco componentes que constituyen la matriz institucional se encuentran intrínsecamente relacionados a través de procesos interdependientes: las acciones y los cambios de cada uno de ellos influyen en los demás y, a su vez, se ven afectados por lo que ocurre en los otros componentes. El estado actual de las cosas no es, entonces, producto de la casualidad, o de una “mano invisible”, sino que resulta de la trayectoria histórica de la matriz institucional y cualquier estrategia de desarrollo debe ubicarse en este contexto. De tal suerte, es necesario considerar tres enfoques de análisis complementarios para el abordaje del desarrollo: como proceso histórico, como visión y como proyecto (Thomas, 2000).

El proceso ofrece una perspectiva de la estructura, es decir, las condiciones que han llevado a un contexto específico -una región o país-, a su situación actual; la visión representa el ideal de sociedad que se pretende alcanzar, el referente para el cambio que se busca realizar; y el proyecto ofrece la estrategia de acción que media entre la estructura existente y el ideal que se busca. La relación del proceso (como lo que existe) y la visión (como lo que puede ser) se manifiesta en el proyecto para el cambio acumulativo en la matriz institucional.

La visión, como guía de la acción, no es igual para todas las sociedades: no puede ni debe surgir de los países "desarrollados" como meta a la que deben aspirar los subdesarrollados; o de los sectores más ricos y poderosos de una sociedad hacia grupos sociales con menos recursos a su disposición. Los "modelos de desarrollo existente no pueden repetirse, ni los modelos de sociedad desarrollada son cristalizaciones de metas por alcanzar." (dos Santos, 1973, p. 17) En la construcción de un proyecto propio cada país, región o incluso localidad debe definir y buscar su experiencia de desarrollo en función de sus condiciones específicas, a través de una visión integral que incorpore los diferentes componentes de la matriz institucional.

La transformación del comportamiento humano se encuentra en el centro de la matriz, en el cual las personas somos tanto sujetos como objetos (Stein, 2008, p. 121). En este sentido encontramos una importante relación de interacción entre las instituciones, como esencia de las condiciones estructurales que limitan o moldean la capacidad de acción de las personas en una

sociedad, y las organizaciones que buscan ejercer su poder para transformar la estructura vigente. Se trata de una dualidad interactiva inherente a la visión de cambio social que establecimos en nuestra concepción de desarrollo.

La capacidad para transformar un contexto no existe de forma aislada: se apoya en las relaciones sociales y su efectividad surge de ellas mismas; implica construir redes comprometidas con el proyecto de una organización. Para construir estas redes alrededor de un proyecto es necesario lograr que diferentes organizaciones se identifiquen con la esencia de lo que se busca, de forma que respalden el esfuerzo en cuestión. “Así, es esencial tomar en cuenta las maneras en que los actores sociales se comprometen o son involucrados en debates acerca de la atribución de significados sociales a los eventos particulares, acciones e ideas.” (Long, 2007, p. 50) La creación de significados para articular redes de acción implica poder, en tanto a capacidad de producir un cambio social.

La construcción de la visión y el proyecto de desarrollo es una pugna permanente que no se realiza entre iguales, existe una esencia asimétrica en las relaciones entre organizaciones, sectores y regiones; en la que los más fuertes -quienes ostentan el control de los medios de producción- son quienes definen la ruta a seguir. Como se destaca en los aportes de Perroux (referido por Cypher, 2014b, p. 19), las relaciones entre organizaciones llevan condiciones -escondidas o explícitas- de fuerza, poder y restricciones entre entidades dominantes y dominadas. Para Veblen (Citado por Cypher, 2014a, pp. 1-2) el poder se puede usar en tres direcciones distintas: para mantener la estructura organizativa e institucional (ceremonialismo o dependencia de sendero), alterarla en función de los intereses de los grupos y organizaciones que buscan promover el cambio (instrumentalismo, relacionado directamente con nuestra concepción de desarrollo) o bien deteriorar aún más las condiciones que afectan a las organizaciones interesadas en una transformación (dependencia de sendero adverso).

Las organizaciones con mayor capacidad serán aquellas que podrán ejercer su poder para orientar la matriz institucional hacia una de estas tres rutas, y es que no todas las organizaciones son iguales: existen desde las organizaciones clave como grandes corporaciones multinacionales, las asociaciones de empresarios y grupos financieros; el Estado puede ubicarse como un factor fundamental pero también hay casos en que se reduce a seguir los intereses del gran capital; y en

un plano secundario aparecen otro tipo de organizaciones educativas, pequeñas y medianas empresas, así como movimientos sociales. Aunque en principio las asimetrías se muestran contundentes, pueden aparecer coyunturas en que la articulación de organizaciones pueda revertir la asimetría de poder para una situación particular. Para mejorar las capacidades de una organización, o de un país, se debe tener claro que no se trata de un fenómeno exclusivamente técnico sino de uno institucional, relacionado con la adquisición y el uso de nuevas habilidades (Stein, 2008, p. 137). En este sentido resulta fundamental mejorar la eficiencia de las capacidades absorbentes (mejoras estáticas), favorecer las capacidades existentes para absorber nuevos tipos de capacidades (mejoras innovadoras) y crear capacidades para generar nuevas capacidades (mejoras sustentables) (Íbid).

Si bien las capacidades necesarias para impulsar el desarrollo van más allá de los aportes técnicos, la ciencia y tecnología (CyT) desempeñan un papel relevante en las mejoras planteadas por Stein; son herramientas para el desarrollo con base en conocimientos y capacidades especializadas, las cuales pueden surgir de lo que otras organizaciones (u otros países) han construido o de la creación de avances propios. A continuación veremos, con el caso específico de América Latina, un ejemplo histórico del rol de la CyT para la matriz institucional.

## **1.2 El sendero adverso en México y América Latina**

Como ya señalamos, el desarrollo no puede asociarse a una ruta única o predefinida por casos de “éxito” previo, cada situación tiene un camino propio en función de sus condiciones específicas. La experiencia de desarrollo de cada país se construye en función de sus condiciones históricas específicas, para comprender su situación en un momento específico como resultado de una larga secuencia de ramificaciones causales (Myrdal, 1968, p. 103); incorporando una visión integral que implica estrategias políticas, sociales, educativas, científico-tecnológicas y económicas.

Hasta mediados del siglo pasado, los modelos de ciencia económica "universal" mantuvieron vigente un discurso del desarrollo para las economías atrasadas que partía de "la suposición de que estas economías reproducirán de manera isomórfica estructuras ya "superadas" por las economías industriales." (Mallorquín, 1998, p. 63) Era un modelo lineal del desarrollo de las naciones en el que todos los países debían seguir "el camino" de los industrializados. Pero, como

señala Frank (1966, p. 18), los países desarrollados nunca fueron subdesarrollados, si acaso fueron no desarrollados. Además, en la tónica del mismo autor, la situación de cualquier país no puede entenderse sólo en función de sus propias condiciones sociales, políticas, económicas y culturales sino que también es un producto histórico de sus relaciones con otras naciones.

Para el presente trabajo, como estudio comparativo entre países dispares en su grado de desarrollo, resulta útil abordar las relaciones asimétricas entre naciones. En el caso particular de México, como país latinoamericano, parece pertinente abordar su situación en términos del sendero adverso, entendido como el papel limitante que los eventos e instituciones históricos han desempeñado para determinar el rango de posibilidades futuras para una nación (Cypher y Dietz, 2004, p. 72).

La mayor parte de los países etiquetados actualmente como “subdesarrollados” fueron colonias de países europeos (Íbid, p. 70). La relación imperialista-colonial, preámbulo y cimiento del centro-periferia, se construyó en base a la integración de las colonias en el mercado internacional como proveedoras de materias primas, con reducidas élites que funcionaban como mercado de bienes manufacturados (Cardoso, 1972, p. 85). Y existió una condición especial en los imperios ibéricos que colonizaron América Latina, quienes eran prácticamente ajenos a los avances de la CyT:

"La América Latina, en su período colonial, no marchó al compás de la ciencia y de la tecnología (...), porque a ello se oponían las características de la cultura ibérica, enclaustrada en una ortodoxia tradicionalista y medievalizante. Además, las sociedades latinoamericanas de los siglos xvi a xviii tenían muy pocas demandas habituales de suministros científico-tecnológicos." (Jaguaribe, 2011, p. 115)

España nunca aprovechó la riqueza extraída de "sus territorios" para establecer el ciclo de formación de capital e industrialización. El flujo de oro y plata incrementó el consumo ostentoso de las élites pero causó una severa inflación que afectó su sistema productivo. El gran excedente económico obtenido de la minería no condujo a ninguna expansión de la capacidad productiva, mientras que el desarrollo tecnológico se restringió a satisfacer las necesidades inmediatas de la minería y la navegación (Cypher y Dietz, 2004, p. 73), actividades que no estaban orientadas a la acumulación de capital sino a un proceso extractivista que terminaba en bienes suntuarios para

las clases dominantes. La riqueza proveniente de Perú y México, lejos de fortalecer la comunidad industrial de España, se dedicó a la compra de mercancías manufacturadas provenientes de Flandes, Francia, Holanda e Inglaterra que con frecuencia se elaboraron con materias primas provenientes de España o sus colonias (Cypher y Pérez, 2013, p. 109). En este sentido, aunque los españoles y portugueses fueron quienes conquistaron gran parte de los nuevos territorios, las ganancias del despojo de los recursos naturales del “nuevo mundo” en realidad sirvieron para financiar el crecimiento del sistema productivo de sus proveedores.

Y esta tendencia de poca atención a las capacidades productivas, no se limitó al uso de los recursos en España; la formación de la matriz institucional en Latinoamérica se vio fuertemente influenciada por las características del imperio español, especialmente por su poco interés por la CyT:

“Las instituciones de América Latina se forjaron en el siglo XVI en un momento histórico en el que los elementos depredadores rentistas del feudalismo español se encontraban en plena vigencia. El desprecio por el trabajo humano y el desdén de la cultura de uso de herramientas que rodea y nutre a los procesos de trabajo –sellos del imperio español– fueron trasladados e integrados en América Latina (Leonard, 2003; Mahoney 2003; Street 1981; Worchester 2003). Entre los factores más críticos que desencadenaron un proceso adverso de dependencia del sendero en América Latina, debemos destacar: “La indiferencia, desdén y hostilidad hacia el método científico de exploración y curiosidad y verificación que fueron indicadores del imperio español...” (Leonard 20003, p. 81). Según este investigador, la ausencia de instituciones fuertes para incubar la ciencia y tecnología son parte de una “herencia intelectual de la Edad Media que fue pasado virtualmente intacto a América Hispánica dejando en la región un “concepto autoritario de la verdad” así explicando “en gran medida la ausencia relativa de las ciencias experimentales” (Leonard 2003, p. 82).” (Cypher y Pérez, 2013, p. 108)

En estas condiciones se formó -en lo que ahora es México, y casi toda América Latina-, una tendencia a obtener la riqueza no de la acumulación productiva sino a través de los abundantes recursos naturales y con muy poco uso de los avances científico-tecnológicos. Las cosas no cambiaron mucho en el siglo XIX con la llegada de la independencia, ni con los efectos de la revolución industrial. Así, las condiciones de dependencia de los recursos naturales se agudizaron

en la medida que, con el argumento Ricardiano de aprovechar los bienes que se tienen en exceso o que son de sencilla producción, los países de la región:

"...ignorándose los unos a los otros (..) se articularán directamente con la metrópoli inglesa y, en función de los requerimientos de ésta, entrarán a producir y a exportar bienes primarios, a cambio de manufacturas de consumo y —cuando la exportación supera sus importaciones— de deudas. " (Marini, 1974, p. 17)

De tal manera la emergencia del capitalismo industrial indujo la división internacional del trabajo: con ciertos países dedicados a actividades que aprovechaban con mayor rapidez la aparición de métodos productivos más eficientes y otros a actividades en que la adopción del progreso técnico era insignificante. Así "los países periféricos fueron rápidamente convertidos en importadores de nuevos bienes de consumo, fruto del proceso de acumulación y del progreso técnico que tenían lugar en el centro del sistema." (Furtado, 1975, p. 95) Con esto, en la segunda mitad del siglo XIX Latinoamérica se insertó en la economía internacional como una región periférica caracterizada por la desigualdad: las élites dominantes concentraron las ganancias de recursos y las usaron de una forma que el consumo ostentoso y las importaciones relacionadas con él se convirtieron en actividades económicas importantes (Arocena y Sutz, 2003, p. 174).

La tecnología desempeñó un rol clave en este proceso. Los países desarrollados generaron una tasa de progreso técnico y productividad alta mientras en la periferia la ausencia de un enfoque científico y de prácticas innovadoras fue abrumadora. Después de 1880 en muchos casos el deterioro sistemático de los términos de intercambio obligó a la periferia a aumentar su volumen de producción para mantener el ritmo de adquisición de bienes del centro (Prebisch, 1986): se debió vender más para poder comprar lo mismo. A la larga esto llevó a una marcada relación asimétrica en la que el centro logró mantener de forma íntegra los frutos del progreso técnico, mientras que la periferia transfirió los frutos de su trabajo, al ceder en sus precios. De estas condiciones derivó una crítica Cepalista en apoyo de un cambio radical hacia la industria: "De ahí el significado fundamental de la industrialización de los países nuevos. No es ella un fin en sí misma, sino el único medio de que disponen estos para ir captando una parte del fruto del progreso técnico y elevando progresivamente el nivel de vida de las masas." (Íbid, p. 479)

### **1.3 Intento de cambio: la industrialización por sustitución de importaciones**

El siglo pasado, entre las décadas de 1930 y 1970, se presentó en la región la etapa que se conoce como la Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI). La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) -con el liderazgo de Prebisch- buscó llevar a las economías de la región de una etapa dominada por las formas de producción basadas en la exportación de productos primarios a otra de acumulación de capital basada en la expansión del mercado interno (Cypher, 1990, p. 48). El Estado fue el agente promotor de esta transformación, a través de reformas políticas, laborales y agrarias, así como aranceles a las importaciones. Incluso, en muchos casos, en ausencia de una clase capitalista fuerte el Estado asumió esas funciones (Kay, 1999, p. 289), generando diversas empresas paraestatales. La industrialización inicial, que era relativamente más intensiva en trabajo que en capital, se conoce como ISI fácil y fue la que logró establecerse con más éxito en la región.

Si bien en muchos casos no se pudo ir mucho más allá, este esfuerzo ofreció importantes beneficios para el crecimiento económico de Latinoamérica. Se ampliaron las oportunidades de empleo, se estimuló el desplazamiento de fuerza de trabajo de la agricultura a la industria, y esto ayudó a expandir el mercado. Además, como señalan Cypher y Pérez (2013, p. 117), un gran número de empresas, ramas de actividades y regiones fueron capaces de establecer una base tecnológica propia, calificaciones operarias, hábitos laborales, modos de organización productiva y mecanismos de interacción social, que permitieron mejorar su productividad y cerrar la brecha que los separaba del escenario internacional.

A otro nivel, se presentó una aceleración del proceso de aprendizaje de la fuerza de trabajo, conforme ésta desarrolló habilidades al trabajar con nuevas tecnologías (Cypher y Dietz, 2004, pp. 269-270). En el papel todo esto se ve muy bien, con círculos virtuosos que fortalecen el avance de la industria nacional, pero en la realidad la ISI latinoamericana se encontró con un muro que a la postre reafirmó la importancia del avance científico-tecnológico en la relación centro-periferia: los bienes de capital.

Rosenberg (1982, p. 44) afirma que la realización de todo el potencial productivo de la industria moderna requiere que las máquinas sean construidas a partir de técnicas de maquinaria; esta es la etapa en la que la industria completa su liberación de las tecnologías viejas. El

problema para los países latinoamericanos fue que no alcanzaron a construir las capacidades suficientes en su matriz institucional para satisfacer las necesidades de maquinaria, equipo y tecnología que su avance industrial requería. Se trató de una vuelta a la condición periférica: el esfuerzo de ISI termina volviendo a la necesidad de importación de productos del centro, los bienes de capital con alto contenido tecnológico.

Se manifiesta entonces el sendero adverso heredado por la colonia: resultado de la ausencia de una capacidad tecnológica autónoma y, más aún, por la incapacidad de las élites de retroalimentar el ciclo de capital. En lugar de esto, tal como lo hicieron en su momento España, los excedentes eran enviados al centro en la forma de consumo suntuario. "Existen numerosas experiencias en América Latina de auges exportadores espasmódicos donde las rentas generadas, que podrían haber servido para consolidar la expansión vía inversión productiva, se han dilapidado en consumo suntuario y/o en el exterior." (Fajnzylber, 1992, pp. 24) En vez de fortalecer el sistema productivo, a la par de la capacidad científico-tecnológica local, nuevamente se volvió a la tendencia de gastar los recursos excedentes en el exterior -ya fuera para adquirir bienes suntuarios o maquinaria para la industria- con la consecuente transferencia de riqueza.

En todo caso la necesidad de bienes de capital incrementó la demanda de divisas duras, lo cual a su vez aumentó la necesidad de exportar o acudir a préstamos externos (Cypher, 1990, p. 49). Como señala Kay (1989, p. 130), esto llevó a un aumento de la deuda externa, creando una situación de dependencia para con los acreedores. Se trata de la base de una crisis de la deuda que en las décadas de los 80's y 90's obligó a un cambio de rumbo económico en América Latina. Para la década de 1970, según Furtado, el "desarrollo autocentrado" había perdido viabilidad, y la emergencia y dominación de la doctrina neoliberal patrocinada por el llamado Consenso de Washington en los países subdesarrollados, dificultó, si no imposibilitó, dar dirección a un proceso "autónomo de crecimiento". (Lora y Mallorquín, 1999, p. 78)

#### **1.4 Del ajuste estructural a una nueva búsqueda del desarrollo**

Las doctrina neoliberal cobró auge en la década de 1980 y, aprovechando la crisis de la deuda en la periferia, se apoyó en organismos internacionales como el Banco Mundial y el Fondo

Monetario Internacional para imponer las Políticas de Ajuste Estructural orientadas a deshacer muchos de los avances del estructuralismo y la ISI; liberalización del mercado, retiro de las medidas de protección y regulación del Estado, así como la privatización de las empresas públicas. En términos generales las medidas neoliberales se orientaron a desplazar el eje de la economía del Estado al mercado. La prioridad se ubicó en expandir el potencial de la exportación como motor fundamental de crecimiento (Cypher, 2011) y las políticas de industrialización fueron tachadas de ineficientes y opuestas al principio de ventaja comparativa. Con esta política económica se ha fortalecido la concentración de la riqueza, el ingreso y el poder a expensas de una marginalización de las mayorías (Sunkel, 2009, p. 33). Esto no solo se manifestó en términos económicos, además se presentó un proceso de concentración de recursos de conocimiento y capacidades de innovación en algunos grupos y regiones, lo cual condujo a una mayor reproducción de las asimetrías sociales (Arocena y Sutz, 2003, p. 172).

Ante esta coyuntura de creciente desigualdad, no se vislumbra una ruta de cambio institucional, es decir, una estrategia de verdadero desarrollo. Como señala Cypher (2011, p. 67) no puede presentarse una recuperación o expansión sostenida porque el ethos rentista del neoliberalismo -alejado de la reinversión productiva- rechaza las políticas que estimulan una amplia formación de capital y la mejora de la base industrial, más allá de los enclaves exportadores. En este contexto un país como México parece condenado al estancamiento y para compensarlo la élite empresarial recurre a prácticas depredadoras (Íbid) que acentúan las condiciones de desigualdad. A través de la trayectoria que hemos visto, en la matriz institucional mexicana no parecen existir condiciones para modificar la ruta hacia mayores capacidades basadas en la CyT y una distribución social más equitativa de los recursos del país.

Como señala Albuquerque (2007, p. 683) esta situación nos plantea la pregunta de cómo resolver institucionalmente el problema de concentración de ingreso y el mismo autor plantea la importancia del Estado de bienestar, como organización capaz de mejorar la distribución de recursos, en una evolución que debe ir de la mano con los sistemas de innovación. De forma semejante Cypher (2014b, p. 22) establece que la dependencia externa no tiene que sentenciar a las naciones a una condición de degradación perpetua, ya que el Estado tiene el potencial de

aprovechar los excedentes económicos para promover políticas de redistribución de ingresos y auténtico desarrollo.

Sunkel (2009, p. 36) plantea la necesidad de un Estado que asuma la responsabilidad de construir una visión estratégica nacional de mediano y largo plazo para comprometer constructivamente a los diferentes sectores sociales. Esto serviría para salir de la trayectoria dependiente de producción primaria o venta de mano de obra barata mediante un esfuerzo de desarrollo y diversificación productiva y exportadora. La promoción industrial para crear un "desarrollo desde dentro" requiere crear un "núcleo endógeno básico" de industrias diseñadas para atender tanto las demandas internas más amplias como las del mercado internacional, con énfasis en la creación y difusión de progreso técnico (Cypher, 2007, pp. 51-52). La clave radica en usar el progreso técnico y la innovación para establecer una ventaja dinámica para el sistema productivo, a la vez que se establecen condiciones para responder a demandas sociales en aspectos como salud, alimentación, transporte, educación y empleo.

Arocena y Sutz (2003, p. 180) apuntan a la educación, como esfuerzo para disminuir la desigualdad en conocimientos y capacidades dentro de una sociedad, como una plataforma clave para el desarrollo: al multiplicar las capacidades colectivas para adaptarse a cambios, expandir el uso de nuevas tecnologías, así como mejorar las actividades productivas y la innovación. Pero disminuir la brecha de conocimientos (y con ella la desigualdad) no es tarea sencilla, especialmente frente a las resistencias que se pueden presentar ante un cambio de esta naturaleza:

“Según los institucionalistas, el proceso evolutivo de una sociedad podría ser analizado desde el lado de factores “ceremoniales” –las fuerzas y factores sociales que inhiben el cambio y consolidan aún más el estatus quo de la estructura del poder económico-social–y, por contraste, desde el lado de las fuerzas y factores progresistas que impulsan el cambio tecnológico e institucional (llamado el instrumentalismo). En la tensión dicotómica entre el ceremonialismo y el instrumentalismo, (como argumentaron los institucionalistas T. Veblen y C. Ayres) el ceremonialismo a menudo dominó, subvalorando el dinamismo tecnológico, socavando así las posibilidades del “desarrollo desde dentro”, según Osvaldo Sunkel. América Latina (AL) ha luchado durante siglos con una serie de instituciones relativamente inmutables, en el que la ‘forma predominante de hacer las cosas’, siguió sin mayor reto. La porción de la

sociedad comprometida en el mantenimiento y la perpetuación de habilidades de las artes tecnológicas, era pequeña y marginada.” (Cypher y Pérez, 2013, pp. 108-109)

La ruta para el desarrollo en un país como México implica promover estrategias orientadas a transformar la matriz institucional, a partir del desarrollo de capacidades en educación, ciencia, tecnología e innovación. Pero tales capacidades no aparecen de la nada ni se crean aleatoriamente, dependen en parte de las condiciones definidas por los paradigmas tecnoeconómicos vigentes o por las oportunidades asociadas al ascenso de un nuevo paradigma.

Un paradigma tecnoeconómico es el resultado de un proceso de aprendizaje colectivo que define las mejores prácticas económicas, tecnológicas y organizacionales para el periodo en el que se adopta y asimila una revolución tecnológica por el sistema económico y social (Pérez, 2005, p. 47). Si bien gran parte del aprendizaje tecnológico es incremental, con aportes graduales que permiten aprovechar al máximo las grandes innovaciones, existen discontinuidades -fuertes cambios de dirección en la ruta de avance tecnológico- que sirven como ventanas de oportunidad para que los recién llegados puedan saltar adelante (Pérez, 2001, p. 119). Estos cambios permiten a los países periféricos construir nuevas capacidades que no dependen de la infraestructura asociada a paradigmas anteriores, en los que se encontraban rezagados, sino que permiten avanzar hacia una capacidad científico-tecnológica propia.

Es fundamental para los países periféricos, como México, identificar sistemas tecnológicos emergentes que les permitan aprovechar sus condiciones -o los empujen a construir capacidades nuevas- para fortalecer su matriz institucional. Aprovechar estas oportunidades exige la capacidad para entrar en el proceso de nuevas tecnologías con potencial para transformar la estructura productiva en sectores estratégicos. Es decir, dejar atrás la tendencia histórica de exportar materias primas para promover el desarrollo de nuevas tecnologías que aprovechen los recursos disponibles para ofrecer productos con un mayor valor agregado. Esto requiere de un alto grado de articulación entre diferentes tipos de organizaciones de la industria, gobierno y centros de investigación, con la capacidad para unir sus aspiraciones alrededor de un sistema científico-tecnológico que sirva como palanca para el desarrollo. Y es que la CyT no existen en una burbuja ajena a la sociedad, se encuentran en constante interacción: sus aportes abren oportunidades para los proyectos de diferentes individuos y organizaciones; a la vez que las

expectativas, o intereses, de las organizaciones con mayor poder influyen en la ruta de avance para las actividades de investigación científico-tecnológica.

Pero ¿es posible aprovechar la CyT -o incidir en ellas- si no se les comprende? Para obtener un beneficio de ellas o llegar a controlarlas es necesario conocerlas, con lo que debemos preguntarnos quiénes ayudan a que la sociedad las conozca, cómo lo hacen y con qué objetivos. Así entra en juego un aspecto fundamental: el significado técnico y social que las diferentes personas y organizaciones le otorgan a los avances científico-tecnológicos. En este sentido la divulgación, como modalidad de comunicación entre los especialistas y las personas ajenas a sus campos, desempeña un papel fundamental al influir en la percepción que los diferentes sectores tienen de los nuevos avances y lo que se puede lograr con ellos. La divulgación asume un rol trascendente para el desarrollo, toda vez que permite identificar las oportunidades -y riesgos- latentes que se pueden seguir en busca del cambio institucional.

El presente trabajo aborda las nanotecnologías como un caso que permite reconocer la necesidad de enriquecer los avances científico-tecnológicos con una visión social que permita una construcción de la ciencia y tecnología (CyT) con miras al desarrollo. Se trata de un ejemplo notable de cómo una tecnología estratégica puede servir como motor para un cambio de fondo en la estructura de un país. Así, no podemos limitarnos a abordar el tema de CyT desde la perspectiva de organizaciones aisladas, se requiere un abordaje sistémico de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad: reconocer como la interacción entre los diferentes actores da forma a las instituciones que guían el avance de sistemas tecnológicos emergentes.

Es necesario tener presente que los sistemas de relaciones entre organizaciones se caracterizan por profundas asimetrías: el poder y la capacidad de acción de una organización de grandes empresarios se encuentra en un nivel totalmente distinto al de movimientos sociales o sociedades científicas. Aun así existen pugnas por una mayor trascendencia de las diferentes organizaciones en las decisiones científico-tecnológicas que afectan a una sociedad, de forma que la CyT realmente sirvan para mejorar sus condiciones de vida.

Solo así, con una sólida participación que tome en cuenta los aspectos sociales de los nuevos paradigmas científico-tecnológicos, será posible que la CyT realmente sirvan como motor de desarrollo. Esto implica estrategias de divulgación de la CyT que ayuden a personas y organizaciones a aprehender los nuevos paradigmas científicos-tecnológicos, con sus implicaciones, para poder incidir en su construcción social. Pero la divulgación no es neutra, su discurso implica una perspectiva que afecta la postura, y las

estrategias, de las diferentes organizaciones frente a un tema específico. Resulta entonces que, tal como la CyT no están en una burbuja, la divulgación también interactúa con los diferentes sectores de la sociedad y se alinea -consciente o inconscientemente- con los intereses de diferentes organizaciones; sea de forma ceremonialista para mantener la matriz institucional vigente o con un afán instrumentalista que busque cambiarla.

La esencia de nuestra investigación se encuentra en identificar la orientación de la perspectiva que la divulgación de nanotecnologías ofrece al público en España, Estados Unidos y México; para darnos cuenta si las diferentes estrategias responden a una estrategia de desarrollo que busca apoyarse en este sistema científico-tecnológico emergente o solo intentan legitimar, a forma de propaganda, la ruta que ya ha sido decidida por las organizaciones dominantes.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Ciencia, tecnología y comunicación

A partir de una perspectiva simple, podemos definir a la ciencia como el esfuerzo humano dedicado a describir, entender, predecir y controlar el comportamiento de la realidad, ya sea natural o social. Sin embargo, al acercarnos para analizarla con mayor detalle podemos constatar se trata de algo mucho más rico y complejo; para Robert Merton (1973, p. 268), el término ciencia puede referirse a tres concepciones distintas e interrelacionadas: un conjunto de métodos característicos para certificar conocimientos; un acervo de conocimientos acumulados a partir de la aplicación de estos métodos; así como una serie de valores culturales y costumbres que gobiernan las actividades denominadas científicas.

En términos generales, los científicos trabajan en la construcción de modelos para explicar diferentes fenómenos y realizar predicciones verificables empíricamente; en la idea de que los modelos no son definitivos sino que se encuentran en un interminable proceso de revisión:

“La ciencia nunca persigue la ilusoria meta de que sus respuestas sean definitivas (...) antes bien, su avance se encamina hacia una finalidad infinita —y, sin embargo, alcanzable—: la de descubrir incesantemente problemas nuevos, más profundos y más generales, y de sujetar nuestras respuestas (siempre provisionales) a contrastaciones constantemente renovadas y cada vez más rigurosas.” (Popper, 1962, p. 262)

Aunque en un momento dado el conocimiento científico sobre un tema nos ofrece la perspectiva más acertada con la que contamos al respecto, no se puede considerar como una concepción definitiva sino transitoria (Íbid, 269). Aquí está la clave que separa a la ciencia, en su concepción más pura, de otro tipo de conocimientos: no tiene lugar para los dogmas.

Pero la creación de un modelo eficaz para explicar un fenómeno no basta para hacer ciencia: es preciso compartir los resultados para someterlos al escrutinio de los colegas y, de ser considerados válidos, integrarlos al cúmulo de conocimientos científicos. Aquí encontramos un aspecto intrínsecamente social de la ciencia, pues las actividades de investigación, publicación, depuración y validación de conocimientos se realizan de forma colectiva. Se forman comunidades que sirven para discutir el trabajo de sus integrantes y dan forma a un entramado social para las prácticas científicas, con una serie de valores y normas para orientarlas; lo que Merton (1973, 268) denominó el *ethos de la ciencia* y que se basa en los principios de universalismo, acceso común, desinterés y escepticismo organizado.

Conforme avanza el trabajo de investigación y socialización, la labor científica muestra una complejidad interna creciente; varios siglos de esfuerzo han resultado en conocimientos cada vez más precisos, profundos y especializados. Lo anterior se refleja en una subdivisión y especialización del trabajo a través de diversas disciplinas con métodos, códigos y hasta objetivos propios. Foladori y García (2015, p. 509) señalan que cada área de la ciencia tiene un fin intrínseco (o propio) y un fin externo (o social), en términos más generales: existen campos que se ocupan intrínsecamente de aspectos como la relación entre la materia y la energía (en el caso de la física), la composición y transformación de la materia (química) o las características, comportamiento y evolución de los seres vivos (biología). Pero todas las disciplinas científicas cumplen, además, con un propósito histórico-social: la razón por la cual aparecieron, se desarrollaron y aún forman parte de la división social del trabajo. A partir de esta lógica Sánchez Vázquez (1984) clasifica a las ciencias en dos grupos según su función externa: las ciencias físico-naturales y las ciencias sociales o socio-humanísticas.

Así, las ciencias físico-naturales cumplen la función de construir conocimientos sobre el comportamiento de la naturaleza para potenciar la capacidad productiva de la sociedad; colaboran directamente con el desarrollo material, tecnológico, y con las diversas maneras en que los seres humanos transformamos el ambiente externo para responder a nuestros intereses. El fin externo de las disciplinas socio-humanísticas es comprender y explicar la manera en que la propia sociedad humana se organiza: cómo se establecen relaciones entre personas y grupos sociales, para facilitar el desarrollo en un determinado sentido.

La evolución de estos dos tipos de ciencia es resultado, sin duda, de dos aspectos fundamentales de la evolución humana. Foladori y García (2015, p. 510) identifican dos tipos de vínculos que establece el ser humano de forma interrelacionada pero que deben distinguirse analíticamente:

“Por un lado, desarrolla relaciones técnicas. Estas son las que el ser humano establece con la naturaleza externa; y para lo cual utiliza el conocimiento brindado por la experiencia y perfeccionado por el desarrollo científico-tecnológico. Son relaciones técnicas porque el proceso de transformar la naturaleza externa requiere de un conocimiento técnico del comportamiento de los fenómenos naturales, sea este aprendido mediante la práctica o el

conocimiento teórico. Estas relaciones, y las ciencias que las soportan, reflejan vínculos genéricos y universales entre el ser humano como especie y la naturaleza externa. (...) Por otro lado, el ser humano desarrolla relaciones sociales. Estas son las que el ser humano establece entre personas y grupos para poder emprender la transformación material de la naturaleza externa y sobrevivir. El ser humano es social, y no existe fuera de las relaciones que establece entre sus miembros.” (Íbid)

Actividades humanas como la pesca, la ganadería o la agricultura requieren de relaciones técnicas, como la navegación, la cría de animales o la siembra y la cosecha, pero se llevan a cabo en un contexto específico de relaciones sociales como pueden ser cooperativas, campesinado o trabajo asalariado. En la actualidad cualquier actividad va a exhibir estas dos caras de la misma moneda, que es la sociedad humana: las relaciones técnicas y las relaciones sociales que a final de cuentas dan lugar a las ciencias físico-naturales y las disciplinas sociales.

Aunque ambos casos parten de la sociedad humana sus posturas epistemológicas respecto a la sociedad son esencialmente distintas: las ciencias físico-naturales la consideran homogénea, ya que su objetivo es la interacción de los humanos (de forma genérica) con la naturaleza externa; en contraste las disciplinas sociales toman en cuenta los diferentes factores que hacen heterogénea a la sociedad, ubicando su contexto en un tiempo y espacio bien determinados (Íbid). Para este último caso el objetivo es organizar a los diferentes sectores sociales en una dirección determinada, en función de quién tiene a su cargo el proceso técnico, quién lo ejecuta, quién es el propietario o beneficiario de los medios de producción, etc.

Con estos roles complementarios, que no antagónicos, los dos tipos de ciencias nos permiten estudiar y comprender una sola realidad a nuestro alrededor; una realidad que día con día se vuelve más rica y compleja. Entonces, sea cual sea el área de especialidad, aumentan las exigencias para las personas que se dedican a la ciencia con la necesidad de un largo programa formativo para llegar a la frontera del conocimiento y poder realizar aportes novedosos. Es por este alto grado de especialización, como sostiene Merton (1973, pp. 263-264), que el científico moderno se suscribe a un culto de ininteligibilidad que produce una brecha entre los científicos y los legos (entendidos como todas las personas ajenas a un campo específico, incluso abarcando a los científicos de otras áreas).

Y para destacar la trascendencia de las relaciones sociales, debemos destacar que la labor científica no está aislada de su entorno: requiere de un soporte institucional, educativo, económico y hasta político que la hace posible a la vez que la vincula con el resto de la sociedad. La necesidad de nexos con el resto de la sociedad demanda una comunicación más allá de la que normalmente realizan los especialistas; una que debe llegar a diferentes sectores del público no experto.

“Las descripciones de la construcción de conocimiento científico (...) que validan el conocimiento creado dentro del laboratorio -u otros espacios de investigación científica- pero ignoran cómo se define, caracteriza y negocia ese conocimiento en otras esferas sociales científicas, le otorga una autoridad arbitraria al laboratorio y sus actores. Al preguntar por qué y bajo qué circunstancias el conocimiento científico se estabiliza debemos reconocer que la posición epistemológica del conocimiento científico se establece más allá del laboratorio por instituciones educativas, relatos mediáticos, museos y el trabajo de muchos tipos de profesionales relacionados con la ciencia. De hecho, la autenticidad de la ciencia de laboratorio podría depender por completo en su “divulgación” y en si los no científicos reciben la autoridad y el poder para participar en esta acción” (Vignone, 2013, p. 5)

Pero este poder para legitimar la ciencia rara vez es ejercido y, más aún, es poco común que fuera de esferas especializadas se cuestione la validez o pertinencia de los conocimientos científicos. La ironía -para una institución que rechaza los dogmas- es que con frecuencia el público lego acepta como actos de fe las afirmaciones científicas novedosas, con el riesgo de favorecer más la propaganda que la comprensión pública de la ciencia. Y ese pensamiento dogmático se presenta en el contexto de una creciente trascendencia social de la ciencia.

A partir del desarrollo de la bomba atómica, que puso fin a la Segunda Guerra Mundial y consolidó la hegemonía global de Estados Unidos a mediados del siglo pasado, quedó claro el poder que puede producirse a partir del conocimiento científico; esto además se vio reforzado con la creciente relevancia económica -en los últimos 50 años- de innovaciones que supieron aprovechar a la ciencia para el desarrollo de tecnologías como el transistor, el microprocesador y el rayo láser.

Aunque el conocimiento científico tiene el poder de cambiar nuestra visión del Universo, para transformar el mundo la ciencia requiere de una base material: la tecnología. Cypher y Dietz (2008, p. 378) definen a la tecnología, en el contexto de la economía del desarrollo, como el cúmulo de conocimiento humano aplicado a los procesos productivos; Amendola y Gaffard (1988, p. 23) la conciben como "la

capacidad de un entorno dado para concebir y dar a luz problemas y soluciones productivas, capacidad que depende de los recursos específicos que constituyen ese entorno"; y para Dicken (2007, p. 76) la tecnología es un elemento que hace posibles nuevas estructuras, nuevos arreglos organizacionales para las actividades económicas, nuevos productos y nuevos procesos. Para el presente trabajo la tecnología representa la capacidad de aplicar conocimientos -que pueden ser científicos pero también empíricos- para enfrentar y resolver problemas y necesidades humanas en un contexto específico.

Si bien los conocimientos y la capacidad para aplicarlos son elementos fundamentales para la capacidad tecnológica, no podemos dejar de lado un aspecto más tangible que determina esta capacidad en un contexto dado: sus bases materiales. El avance tecnológico requiere contar con infraestructura para crear, probar, adaptar y facilitar la adopción de los artefactos esenciales para la creación de nuevas estructuras productivas. La revolución industrial no fue posible sólo porque alguien encontró una forma de convertir el calor en un movimiento rotatorio continuo a través de la máquina de vapor; esto se llevó a cabo en el contexto de Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII en que coincidieron una considerable capacidad para trabajar el metal (para fabricar las máquinas), una oferta barata de carbón para facilitar el trabajo de la industria del hierro, así como una serie de productos -hierro, textiles, químicos- que requerían de la nueva maquinaria para su producción y también para su movilidad (Landes, 2003, pp. 2-3). No se trata, entonces, solo de conocimientos aplicados de forma arbitraria sino que las tecnologías se materializan a través de un proceso que articula las necesidades (sociales, económicas e industriales) y las capacidades (científicas, tecnológicas y productivas) preexistentes para un lugar y una época determinados.

Pero al abordar la tecnología como una herramienta para transformar el mundo, no se debe confundir esta idea con una postura de determinismo tecnológico: creer que los cambios sociales producidos por la tecnología surgen de forma autónoma, ajena a la sociedad (Rogers, 2010, p. 139). No se puede entender una tecnología de forma aislada: implica toda una estructura con elementos científicos y técnicos pero también sociales y económicos. La forma que adopta un avance no está determinada *a priori*, ni es inevitable o independiente del contexto en que surge; la tecnología -como la ciencia- es una construcción social. Tal como sucede con el caso de la ciencia, e incluso en mayor medida porque involucra a actores y organizaciones más diversos en su trabajo, la tecnología es reflejo de la matriz institucional en que se ubica.

“Este proceso social llamado tecnología no existe (...) en un mundo de su propia creación; se trata de un aspecto importante del desarrollo de la sociedad en su conjunto. Y como quienes conforman la sociedad son al mismo

tiempo el material humano del que se compone la tecnología, ésta refleja las características del orden social particular que la produjo y la sostiene.” (Noble, 1979, p. XXVII)

Lejos de un vínculo causal simple y unidireccional, existe una relación interactiva de la ciencia y tecnología (CyT) con factores sociales, culturales y económicos. Como señala Lewenstein (2005, p. 6), la CyT solo existen en un contexto social y no podemos entender su avance sin entender tanto las condiciones sociales que las producen como las condiciones científico-tecnológicas, simultáneas, que moldean a la sociedad. Entonces “no está, por un lado, lo técnico y, por otro, lo social, como dos mundos o dos procesos heterogéneos. La sociedad y el cambio técnico se modelan recíprocamente.” (Salomon, 1988, p. 34)

Y es que, a la luz de la naturaleza social de la CyT, la comunicación de conocimientos resulta imprescindible para su avance: los especialistas pueden establecer vínculos con colegas, docentes, directivos, editores, políticos, empresarios y muchos otros tipos de sectores no especializados. Pero estas relaciones no pueden establecerse de forma genérica, cada una implica condiciones específicas que definen la forma en que debe realizarse una comunicación exitosa.

Schirato y Yell (citados por Burns et al., 2003, p. 186) definen a la comunicación como “la práctica de producir y negociar significados, una práctica que siempre se lleva a cabo bajo condiciones sociales, culturales y políticas específicas”. Desde esta perspectiva se resalta la importancia del contexto y la negociación social de significado para la comunicación de la ciencia. La forma en que se dan a conocer los nuevos avances de la CyT a los diferentes actores y las organizaciones de una sociedad es fundamental para definir su postura y, con ella, las estrategias que emprenden al respecto.

Pero el proceso de socialización de avances de la CyT no es directo: el lenguaje técnico de las diferentes disciplinas puede resultar oscuro para los legos. El uso de este tipo de códigos facilita considerablemente la difusión -definida por Estrada (2002) como comunicación entre especialistas- en la medida que tenemos interlocutores identificados por la posición equivalente respecto a su competencia de saber (Berrientos, 1998, p. 26). Nos encontramos entonces con un discurso científico que Berrientos (Íbid, p. 27) caracteriza como serio y objetivo, atemporal e impersonal, en el que se busca eliminar la ambigüedad, implantar la univocidad e instaurar la monosemización para conducir al público de colegas a una sola y única interpretación.

Las características útiles de la comunicación que se lleva a cabo al interior de las comunidades científicas se convierten en obstáculos cuando buscamos un proceso de comprensión pública de la CyT, al dejar fuera aspectos humanos esenciales como el contexto, la historia y los elementos sociales del proceso

que condujo a un avance específico. Las ventajas técnicas de la difusión no son gratuitas pues lo que se gana para el entendimiento entre colegas se pierde con el resto de la sociedad; la comunicación se complica incluso entre investigadores de diferentes disciplinas y los problemas se vuelven mayores cuando se trata de la divulgación o *comunicación pública de la ciencia*, es decir, del proceso entre las comunidades científicas y el público no experto (Olivé, 2007, p. 30).

### **Divulgación de la Ciencia y Tecnología**

Cuando sectores del público lego intentan acercarse a la CyT a través de un proceso de difusión - sea un libro, una revista o una conferencia- la falta de conocimientos y experiencia relacionados con la especialidad en cuestión complica la comunicación y es muy difícil que logren comprender el tema. Se crea entonces un falso muro para el acceso de las personas no especializadas a la CyT; y decimos falso porque la gente sí es capaz de asimilar los conocimientos y la forma de trabajo de la ciencia, a través de una forma de comunicación adecuada.

Es posible construir los canales adecuados para establecer procesos para vincular a la ciencia con sectores no expertos de la sociedad, a través de los cuales cada parte sea capaz de entender las condiciones, necesidades y posibilidades de la otra. Como señala Wynne (1995, p. 362) la investigación en la historia de la ciencia ha mostrado sistemáticamente cómo las construcciones retóricas del orden social ayudan a crear el conocimiento científico y cómo el conocimiento científico ayuda a moldear el orden social, en un proceso de mutua construcción. A pesar de esta trascendencia el acceso a los temas científico-tecnológicos importantes para una sociedad sigue limitado a reducidos sectores de la población.

“La ciencia se está transformando rápidamente en un componente de la cultura general; un procedimiento estructurado para comprender el mundo real, mediante la adquisición, análisis y verificación organizada de datos. Esta tendencia sería muy positiva, si fuese verdaderamente cultural, lo que significa masivamente asequible a la gente. La concentración de la ciencia en pocos grupos tendrá un efecto tan negativo como la concentración de la capacidad de leer y escribir.”  
(Lage, 2006, pp. 149-150)

Es fundamental ofrecer a los ciudadanos las condiciones para entender qué sucede a su alrededor, contar con elementos suficientes para asumir una postura al respecto e incluso pugnar por tener un rol activo en la toma

de decisiones que afectan sus vidas: la sociedad tendría la necesidad democratizante y libertadora de procesos de comunicación que le permitan autodeterminarse respecto a la CyT (Guevara, 2015, p. 124). Y es que en las democracias contemporáneas cada vez es más frecuente que se deban tomar decisiones relacionadas con elementos de CyT, aunque se encuentren desprovistas de los elementos para manejar tales problemas (Zimmerman et al., 1980, p. 464). Aquí aparece la necesidad social y política para un proceso de comunicación de la CyT que contemple las condiciones del público no especializado: la divulgación.

En un sentido estrictamente etimológico, divulgar implica poner algo al alcance del vulgo; llevarlo al común de las personas. Para el caso particular de la comunicación de la CyT Alcívar (2004, p. 45) señala que la divulgación selecciona, redirige, adapta y recrea un conocimiento producido en el ámbito especializado de ciertas comunidades científicas y tecnológicas para que -una vez transformado- cumpla una función social en un contexto distinto y con propósitos diferentes para una determinada comunidad.

Divulgar significa transformar elementos científico-tecnológicos, sin sacrificar su esencia, para que puedan ser conocidos, apropiados y aprovechados por diferentes sectores no expertos. Se debe destacar aquí que en esta visión de divulgación no nos limitamos a comunicar solo los conocimientos de la CyT sino también las condiciones sociales en que fueron construidos, la historia detrás de ellos, la metodología que ayudó a obtenerlos, los debates que los enriquecieron y las teorías que desplazaron (por mencionar algunos aspectos). Para tomar en cuenta esta diversidad de elementos, contrario a lo que ocurre en la difusión, la divulgación se vale de relatos globalizadores que ayudan a ubicar los temas discutidos en base a elementos contextualizadores (Berrientos, 1998, p. 28). De esta manera la divulgación compensa la asimetría de conocimientos especializados mediante relatos que acercan al público lego al contexto experto y que llevan elementos científicos a un entorno familiar para personas no expertas.

Desde este panorama de la divulgación no podemos pensar en hacer que la CyT resulten comprensibles de forma genérica: una labor efectiva requiere tomar en cuenta el público al que se dirige, de forma que se pueda usar un código compartido. Por más que se mencione la existencia de un público en general, concepción que abarca a todas las personas de una sociedad (Burns et al., 2003, p. 184), se tiene que reconocer que por la heterogeneidad de lo que se llama *público* no es posible mantener un concepto singular sino que, al incluir personas tan diversas e impredecibles, se vuelve necesario hablar de *sectores del público*, distinguiendo sus características e intereses para el proceso de comunicación.

“Hay especialistas de diferentes disciplinas que quieren mantenerse al día en todos los ámbitos. (...) Luego hay otras personas altamente educadas -en humanidades, lenguas, leyes o ciencias sociales, se les ha llamado “eruditos no expertos”- que están emocionados, intrigados o asustados por lo que perciben que ocurre en la ciencia. Puede tratarse de responsables políticos, periodistas, legisladores y otras personas cuyas opiniones son importantes directamente para los científicos, y afectan sus vidas. Distintas a estas son las personas ordinarias, ocupadas, más o menos curiosas sobre las nuevas ideas o entusiasmadas sobre los desarrollos técnicos, probablemente suspicaces sobre lo que los supuestos expertos les dicen, y cautelosos frente al cambio. Están los consumidores que serán estimulados por los comerciales de apariencia científica para comprar productos de belleza o píldoras estimulantes (...). Finalmente están los niños, la generación en ascenso, cuyo entusiasmo inquisitivo debe mantenerse si la ciencia ha de seguir.” (Knight, 2011, pp. 2-3)

Vemos en la tipificación que hace Knight un gran número de retos: cada uno de los sectores representa condiciones diferentes para una comunicación exitosa; toda vez que divulgar se trata de llevar la CyT de un contexto especializado a otro pertinente con determinados grupos sociales, es decir, recontextualizar. De esta manera la divulgación recrea, en la medida que vuelve a crear conocimiento científico y tecnológico que ya existe pero ahora en un contexto no experto; hace una reelaboración creativa que construye nuevos discursos a partir de discursos elaborados en contextos especializados (Alcíbar, 2004, p. 51). Y, además, esta recreación de la CyT no se limita a fines didácticos o culturales, cumple también una función de legitimidad.

“El proceso de la divulgación ha sido examinado como un componente necesario para legitimar la construcción del conocimiento científico. La trascendencia de la divulgación en la producción de conocimientos científicos es especialmente importante para los museos de ciencias y los centros de ciencias. Steven Hilgartner ha argumentado que es la acción de divulgar la que legitima a la ciencia. Si la ciencia se quedara callada y separada de sus públicos, su poder e influencia en la cultura serían marginales.” (Vignone, 2013, p. 46)

Aquí cabe añadir que no solo son objeto de divulgación los contenidos científico-tecnológicos consensuados y ampliamente aceptados, es preciso someter a discusión también contenidos científicos y tecnológicos controvertidos, esto es, problemas abiertos, con sus consecuencias sociales, económicas, políticas o éticas (Alcíbar, 2009, p. 185). Así se ofrece a los participantes una visión integral de la CyT y se les permite participar en discusiones relevantes para las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Tal apropiación pública de la CyT se puede considerar el ideal que la divulgación busca construir en una sociedad a través de un proceso integral de comunicación. Burns, O'Connor y Stocklmayer (2003)

caracterizan este proceso a través de cinco respuestas personales a la CyT que se pretende estimular, en lo que en inglés se llama el modelo AEIOU: *Awareness* (Advertir); *Enjoyment* (Encantar); *Interest* (Interesar); *Opinion* (Opinar); y *Understanding* (Comprender, ubicar). La traducción que aquí ofrecemos no es literal, busca capturar la esencia del modelo al tiempo que se mantienen las siglas que lo caracterizan en inglés.

**1) Advertir.** Es la base de todo el proceso, consiste en hacer conscientes a las personas de la existencia de un aspecto específico de la CyT con posibles implicaciones para sus vidas, y de que tienen la opción de aprender más al respecto (Burns et al., 2003, p. 196). Uno de los grandes problemas para la comprensión pública de la CyT en la actualidad no es sólo la falta de conocimiento sobre fenómenos naturales o innovaciones tecnológicas, sino que la mayoría de las personas ni siquiera identifican que hay tales elementos para conocerlos. Para que, de entrada, alguien tenga la opción de acercarse un tema científico-tecnológico es necesario que se entere de su existencia.

**2) Encantar.** La comprensión de un tema rara vez ocurre sin estímulo para aprender; sin emoción y motivación nadie elegirá libremente involucrarse en aspectos más profundos de aprendizaje (Lewenstein, 2013, p. 92). En este contexto la diversión puede servir como aliciente en dos niveles:

a) Superficial. Es una experiencia placentera con la ciencia a través de una forma de arte o entretenimiento: demostraciones, exposiciones u obras literarias. De acuerdo a Sergio de Régules (2000, p. 73) puede uno fijarse la meta “más modesta” de deleitar con el pretexto de la ciencia: que el artículo, el libro, la conferencia o la exposición sean un paseo, que el público viaje y se olvide de sí por un rato; y sobre todo que nos acompañe de buen grado hasta el final.

b) Profundo, implica una mayor participación y satisfacción personal a través de descubrir, explorar y resolver asuntos relacionados con la CyT (Burns et al., 2003, p. 197). Aquí hay una participación mucho más rica y activa por parte del público, pero que difícilmente sería posible sin una primera experiencia satisfactoria que los atrape, procedente del nivel superficial.

La diferencia entre una experiencia que perdura y otra que se pierde se encuentra en que las primeras provocan niveles de emoción más altos de lo normal (Baddeley citado por Negrete, 2008, p. 94). Cuando nos emocionamos se liberan al torrente sanguíneo sustancias que ponen al cuerpo en alerta y avisan al cerebro para que haga un registro permanente en la memoria de la experiencia (Negrete, 2008, p. 94). En la medida que una experiencia divertida excita nuestras emociones, llama nuestra atención y es recordada con frecuencia, se convertirá en una memoria significativa que quedará grabada en nuestro cerebro.

**3) Interesar.** La diversión puede despertar un afán de las personas por participar en actividades de divulgación pero no garantiza la continuidad en la participación. Mantener ligadas a las personas a un tema requiere de interés. Para conseguirlo debe haber una afinidad entre el proceso de divulgación y el contexto del público al que se dirige, con sus gustos, preocupaciones y anhelos.

**4) Opinar.** La actitud de una persona respecto a un asunto científico es sumamente compleja, personal y multifacética; el conocimiento no es el único factor, a veces no es siquiera el más relevante, pues también influyen las creencias y reacciones emocionales (Burns et al., 2003, p. 197). Según el modelo de avaro cognitivo (*cognitive miser*) los individuos son “holgazanes intelectuales” que harán un mínimo esfuerzo para tomar decisiones cotidianas (Ho, 2008, p. 4). Frente a una decisión relacionada con asuntos como nuevas tecnologías o descubrimientos científicos las personas no recurren a toda la información disponible para formar su postura; acuden a atajos cognitivos -como prejuicios, valores o ideologías- para establecer su postura y darle sentido a un asunto (Scheufele y Lewenstein, 2005, p. 660; Bubela et al., 2009, p. 515).

Para Burns y colaboradores (2003, p. 198) la necesidad de una persona por modificar su opinión se presenta cuando se enfrenta un desafío a sus creencias, su visión entra en conflicto con nuevos conocimientos, o bien si se le presenta una alternativa útil o confiable. Para conseguirlo las estrategias de divulgación presentan perspectivas específicas, enfoques, que buscan una identidad emocional con las personas para mover su postura. Más adelante profundizaremos en el tema de los enfoques.

**5) Comprender (Ubicar).** Se trata de un prerrequisito para mayores niveles de alfabetización científica y enfatiza las aplicaciones e implicaciones de la ciencia (Íbid). En esta respuesta encontramos el objetivo último de la divulgación de la ciencia, la capacidad de las personas para ubicar los diferentes aspectos científicos en su realidad, lo cual implica una apropiación del contenido, los procesos y los factores sociales inherentes a la CyT.

El grado de compromiso de las personas para participar en procesos de divulgación es determinante para la profundidad de la comprensión que pueden alcanzar. El modelo AEIOU nos ofrece una herramienta analítica para entender las diferentes reacciones que condicionan ese compromiso. Pero aquí no se agota el abordaje de la divulgación, como tema de estudio: la forma de presentar la información -y la pertinencia con la realidad de los participantes- es determinante en la representación que se construye y refleja la visión del

rol que el divulgador<sup>2</sup> le asigna al público en el proceso; todo esto implica un modelo de incorporación de la sociedad en la recreación de la CyT.

### **Modelos de Divulgación**

La forma de concebir y realizar la divulgación de la CyT no es única ni estática, la evolución de la discusión académica del tema nos permite identificar dos modelos principales: el déficit y el interactivo, así como un complemento al segundo -el compromiso público (*public engagement*)- que aborda la participación social en la definición de políticas relacionadas con CyT. En muchos casos el avance en la reflexión sobre el tema ha impulsado cambios en las acciones de divulgación, enriqueciendo su práctica, pero la aparición de un nuevo modelo no implica dejar atrás las viejas formas: los diferentes modelos siguen vigentes en diferentes contextos.

#### Déficit

Una parte importante de la divulgación de la CyT surge de los investigadores científicos o tecnológicos y se dirige a públicos no especializados a partir del supuesto de que los conflictos sociales sobre la ciencia surgen de la ignorancia. En el modelo de déficit la idea es que los hechos hablan por sí mismos y serán interpretados de forma semejante por todas las personas (Nisbet y Scheufele, 2009, pp. 1767-1768); más aún, la idea subyacente es reproducir en el público la misma visión del tema que la que tiene el emisor.

Las acciones tipo déficit adoptan un enfoque propagandístico que muestra una perspectiva llena de bondades y carente de defectos (o riesgos), que se puede entender como el intento de la comunidad científica para conseguir recursos para sus propósitos (Lewenstein, 1995, p. 349). La premisa central es que entre más informado se encuentre el público estará más dispuesto a apoyar la investigación y será capaz de tomar decisiones más racionales y fundamentadas sobre asuntos científicos (Ho, 2008, pp. 3-4). Se trata de una forma de divulgación asimétrica, que parte del hecho de que las personas con quienes se establecerá la comunicación no tienen nada valioso que aportar y se buscará un flujo unidireccional de comunicación de la ciencia a los diferentes sectores del público (Gross, 1994, p. 5). El término *déficit* refiere, de forma

---

<sup>2</sup> En lo sucesivo designaremos como divulgador a cualquier persona que lleva a cabo una estrategia de divulgación de la CyT, aunque no se dedique a esta actividad de lleno ni profesionalmente.

despectiva, a una transmisión de conocimiento desde los expertos, que eligen qué desean comunicar y cómo hacerlo, al público ignorante que se limita a asimilar pasivamente el conocimiento (Durant, 1999, p. 314).

Este modelo ha sido fuertemente criticado por centrarse en la oferta con que el divulgador pretende ilustrar a sus públicos, sin que exista la posibilidad de considerar su contexto, intereses y preocupaciones. Además deja de lado la posibilidad de involucrar a la sociedad en la definición de las prioridades para el desarrollo científico-tecnológico y más bien parece una búsqueda de respaldo y legitimidad para la ruta que ya se encuentra definida.

La divulgación tipo déficit trabaja con una visión extremadamente simplista de la ciencia, como un cuerpo de conocimiento sin problemas, seguro y cierto; los críticos del modelo destacan que gran parte del conocimiento científico -especialmente el más nuevo y socialmente relevante- es parcial, provisional y hasta profundamente controvertido (Durant, 1999, p. 315). El conocimiento científico que un individuo debe dominar para ser un ciudadano informado, es precisamente esta ciencia de punta que se debate, y por lo tanto la que se desarrolla dentro de cierta incertidumbre (Negrete, 2008, p. 28).

Bubela y colaboradores (2009, p. 515) señalan que el modelo de *déficit* ignora un elemento importante sobre las personas y la forma en que se acercan a la CyT: los individuos son avaros cognitivos (*cognitive misers*). Las personas no recurren a toda la información disponible para tomar decisiones sobre asuntos como nuevas tecnologías o descubrimientos científicos; en vez de eso acuden a atajos cognitivos para establecer su postura (Scheufele y Lewenstein, 2005, p. 660) y darle sentido a un asunto; los atajos se encuentran en prejuicios, valores o ideologías. Normalmente las personas se sienten atraídas por las fuentes de información que confirman y refuerzan sus creencias (Bubela et al., 2009, p. 515). No importa lo bien planteadas que sean las ideas en la divulgación, para lograr un efecto significativo en los actores se debe considerar su contexto e intereses (Nisbet y Scheufele, 2009, pp. 1767-1768), de otra manera todo lo que ofrezcan -por más valioso que pueda ser- será ignorado. Es necesario un diálogo, para que la divulgación pueda tener un mayor efecto.

### Interactivo

En contraparte al déficit, se propuso realizar la divulgación a través de una interacción basada en aspectos como precisión, simplificación, información de riesgos, el contexto de las personas y, sobre todo, el nivel de

interés de del público por buscar información (Lewenstein, 1995, p. 348). Así surgió el modelo interactivo (o de diálogo) con la idea central de una interacción simétrica de la ciencia con sus públicos (Gross, 1994, p. 5), con las personas como participantes activos del proceso de comunicación (Einsiedel, 2008, p. 175), a quienes se debe escuchar, poniendo atención a sus valores, creencias y experiencias.

De esta manera se pasa de una visión de público, homogéneo y simple hacia una noción plural y compleja de los diferentes sectores del público (Alcíbar Cuello, 2009, p. 73). Por tanto, las experiencias, expectativas y motivaciones de los actores involucrados pasan a ser tan importantes como los temas científico-tecnológicos que se pretenden abordar en la divulgación. El contexto de las personas involucradas aparece como un elemento esencial frente a los temas de CyT que se abordan en la divulgación. “El diálogo no le quita autoridad a la ciencia, más bien sitúa las innovaciones científicas en un contexto social más amplio, donde se incluyen más conocimientos importantes (...) para analizar el alcance y las implicaciones de los nuevos descubrimientos científicos.” (Negrete, 2008, p. 38)

A final de cuentas, el modelo interactivo busca establecer un proceso de recontextualización entre el carácter científico-tecnológico de los conocimientos abordados -con sus polémicas e incertidumbres- y el enfoque cotidiano de las personas involucradas, con todas sus experiencias, preocupaciones e intereses. Así se busca una mayor "actitud científica" por parte de la gente común, y una mayor participación en las "preocupaciones de la vida cotidiana" por parte de los científicos (Estrada, 2002, p. 71). Con esto se le otorga un mayor protagonismo a los públicos dentro de la divulgación, permitiéndoles un mejor entendimiento de lo que ocurre a su alrededor, pero aún como espectadores ajenos al avance de la CyT.

#### Compromiso Público (*Public Engagement*)

No se trata de un modelo propiamente dicho, sino que lleva a la divulgación interactiva un paso más allá. Hoy en día los debates sobre CyT emergentes no se reducen a temas técnicos, sino que deben ser definidos de forma colectiva en la intersección entre política, valores y conocimiento experto (Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1776). Con esto se busca que especialistas y legos construyan escenarios consensuados sobre las aplicaciones de la CyT que afectan la seguridad y bienestar de las personas (Alcíbar Cuello, 2009, p. 173). El modelo democrático, planteado por Durant y que sirve de base para lo que se conoce como compromiso público, implica mecanismos para un debate público informado -con la participación de expertos técnicos,

expertos no técnicos, representantes de grupos de interés y ciudadanos o “gente común”- como base para políticas públicas democráticas sustentables que cuenten con la confianza del público (Durant, 1999, p. 315).

De manera semejante, Einsiedel (2008, p. 175) plantea un continuo de participación pública en la CyT que incluye esfuerzos de suministro de información en CyT, y también procesos de retroalimentación para definir la forma de producción y uso del conocimiento a partir del contexto y las circunstancias de una sociedad (Ibíd). Así entran en juego los Consejos Asesores Ciudadanos (Citizens’ Advisory Councils) que en diversos países europeos ya se usan como herramientas para una participación social/democrática en la definición de rumbo científico-tecnológico en busca del desarrollo sustentable; con el potencial para convertirse en mecanismos efectivos para una mayor y mejor comunicación entre grupos ciudadanos interesados, actores sociales, sector privado, agentes científico-tecnológicos y gobiernos (Steiner, 2013, p. 13). Representan colaboraciones para fortalecer los aspectos científico-tecnológicas de la matriz institucional con miras al desarrollo: al favorecer la confianza entre actores, la legitimidad de las decisiones y la reducción de impactos sociales y ambientales. Según el propio Steiner este tipo de esfuerzos ofrecen ventajas para todos los actores involucrados:

- 1) El sector privado consigue mecanismos confiables para comunicarse con la sociedad civil, reduciendo los malos entendidos, el malestar social, riesgos de accidentes y tensiones políticas.
- 2) El gobierno obtiene una mayor legitimidad política a través de la participación social.
- 3) Los ciudadanos interesados tienen la oportunidad de participar, informarse de los detalles de riesgos y beneficios de los proyectos en cuestión y pueden expresar sus sugerencias y preocupaciones.

Cuando se logra establecer este tipo de procesos de diálogo público en las etapas tempranas de un sistema tecnológico emergente, antes de que se le haya dado forma en una sociedad, se establece una participación “aguas arriba” (*upstream*) (Corner y Pidgeon, 2012, pp. 169-170) y, caso contrario, cuando la participación llega después de que se definió el rumbo se trata de un caso “aguas abajo” (*downstream*). En los casos de tecnologías polémicas –como las nanotecnologías- con potencial para grandes riesgos y beneficios, lo ideal sería contar con una participación aguas arriba; hay mucho en juego, lo que significa que las metodologías para permitir a los diferentes sectores contribuir en la construcción de las nuevas tecnologías deben estar a la altura de las circunstancias (Ibíd).

Aquí entra en juego la gobernanza anticipatoria, tal como la definen Barben y colaboradores (2008, pp. 992): la habilidad de una variedad de ciudadanos interesados, tanto expertos como legos, que a través de una serie de mecanismos de retroalimentación colectivamente imaginan, critican y dan forma a los retos planteados por tecnologías emergentes antes de que se materialicen de una forma particular. Así se evoca una capacidad colectiva de aprendizaje e interacción orientados a la acción a partir de la reflexión sobre posibles resultados sociotécnicos (Barben et al., 2008, p. 993).

Este tipo de planteamientos para la comunicación pública de la CyT, se han convertido en un lugar común en los círculos académicos y gubernamentales en busca de gobernanza y legitimidad para las políticas científico-tecnológicas de los países centrales (Lock, 2011, p. 27). Sin embargo parece una perspectiva idealista e ingenua, que desconoce los desequilibrios de poder y el sesgo que puede surgir en la construcción de significados de la comunicación de la CyT entre actores muy diversos. Aún así, con todo y sus fallas, el modelo representa un avance respecto a las estrategias de comunicación lineal y a la toma de decisiones basada en reducidos círculos de poder. En abstracto la existencia de mecanismos que permitan que los diferentes actores y organizaciones de una sociedad definan el rumbo a seguir por los avances de la CyT suena como una utopía, sin embargo:

“La participación pública podría ser una forma en que las élites locales puedan superar la oposición local para seguir actuando de la misma manera, encontrando una nueva fuente de legitimidad a través del debate público. (...) Las experiencias actuales bien podrían contradecir las expectativas de la narrativa dominante: el compromiso público podría fracasar en la mejora de prácticas democráticas en la definición de desarrollos tecnológicos. Por tanto es necesario mantener una postura crítica, ya que el compromiso público puede perderse fácilmente en traducciones institucionales.” (Joly y Kaufmann, 2008, p. 243)

Un problema del *compromiso público* es que puede buscar solo disfrazar un proceso “aguas abajo”: llevarse a cabo para legitimar decisiones previas más que para involucrar a la sociedad en el proceso de construcción de los avances de la CyT. En muchos casos se generan recomendaciones que no son tomadas en cuenta en políticas públicas, sobre todo cuando difieren con las estrategias previamente definidas por cúpulas científicas, políticas o industriales. Para que esta modalidad realmente funcione es necesario asumir que a veces un público competente, informado y comprometido puede tomar decisiones que vayan en contra

de los intereses de las organizaciones científicas (Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1774), así como los de los sectores gubernamentales o privados.

“La participación democrática en la selección de opciones técnicas requiere un cambio en el control que las cúpulas científicas, corporativas y políticas no está dispuestas a realizar. Existe entonces una tensión entre los objetivos de las cúpulas científicas y su apoyo a la educación científica informal, y las implicaciones de la educación científica informal si su trabajo motiva cualquier tipo de cambio de poder que pudiera socavar la autoridad de las cúpulas científicas.” (Vignone, 2013, pp. 51-52)

Frente a esta preocupación de que los grupos de “profanos” puedan mermar la autoridad de los expertos y alterar las rutas que estos consideran más adecuadas, aparece el riesgo de la simulación: el uso de “compromiso público” siempre que no se contradiga la visión predefinida, es decir, una estrategia de propaganda disfrazada de participación pública. O bien, se puede convertir en un estudio de mercado que piensa en términos de consumidores más que en un proceso de comunicación que permita incorporar las ideas, necesidades y preocupaciones de diferentes sectores ciudadanos al proceso de definición de la ruta para los nuevos avances en materia de CyT.

### **Una crítica para los tres modelos**

Cada modelo de divulgación de la CyT tiene condiciones que, además de identificarlo, le ofrecen claras ventajas y desventajas al establecer procesos de comunicación en casos particulares. Pero independientemente del modelo en cuestión, en la mayoría de estudios que analizan la comunicación pública de la CyT, nos encontramos con un importante problema de fondo: el individualismo metodológico. En la mayoría de los estudios se contempla al ciudadano como átomo de la sociedad y ésta como la simple suma de las partes de comportamiento uniforme. Macnaghten y colaboradores (2015, p. 2) destacan como se asume que las actitudes se forman en base a factores cognitivos o afectivos internos apoyados en enfoques mediáticos, predisposiciones ideológicas o creencias religiosas, pero siempre en un marco individual.

De esta manera se dejan fuera del análisis las dinámicas de interacción grupal, de discusión a partir organizaciones sociales y procesos de construcción colectiva que pueden impulsar una movilización orientada a cambios institucionales. Claro que tampoco se pueden comprender las respuestas a los nuevos avances de la CyT solo en función de dinámicas sociales, sino que es necesario un equilibrio entre la naturaleza individual y social del proceso de respuestas descritas en el modelo AEIOU (Burns et al., 2003).

Un gran reto pendiente para los estudios de comunicación pública de la CyT radica en profundizar el análisis de la dimensión colectiva de la divulgación, como complemento a los procesos individuales, para mejorar nuestro entendimiento de los procesos de comprensión pública de la CyT y de paso fortalecer los fundamentos para nuevas estrategias al respecto.

En segunda instancia se debe señalar que la divulgación de la CyT sigue siendo una actividad guiada esencialmente por la oferta: aún en procesos interactivos o de compromiso público, la comunicación se inicia por el interés de sectores científico-tecnológicos para conseguir algún tipo de apoyo. En su defecto, son instancias privadas o gubernamentales las que promueven acciones de divulgación para impulsar la aceptación o el apoyo de un avance específico. La demanda de la sociedad, o de sectores específicos del público, para discutir temas relevantes poco es tomada en cuenta para promover acciones de divulgación.

Prevalece una marcada organización centrada en lo que tienen que decir los expertos en la mayor parte de estrategias de comunicación pública de la CyT, poniendo poca atención a lo que desean saber movimientos sociales como sindicatos, organizaciones ambientales, grupos de pacientes y otras organizaciones interesadas en participar en la construcción social de los avances científico-tecnológicos. De forma extraordinaria, se han presentado casos de organizaciones que inician discusiones en temas como los riesgos de las nuevas tecnologías, dando lugar a foros y movimientos sociales que han logrado incidir en las políticas de CyT. Son casos de compromiso público desde la demanda social, en que destaca la iniciativa de los movimientos sociales y su lucha para hacer una diferencia en la ruta de las tecnologías emergentes.

Finalmente, es necesario resaltar que el origen de una estrategia de comunicación pública de la CyT es esencial para comprender las características del proceso: el contenido y la forma de abordarlo siempre están –consciente o inconscientemente- cargados de intereses que afectan la postura del público y, de esta manera, tienen el potencial de incidir en las estrategias de los diferentes agentes del desarrollo al respecto. Entonces:

“...así como se acepta que la ciencia no es neutra, también debe aceptarse lo mismo para la divulgación, al margen del modelo metafórico en que se conciba. Si es retórica, entiende la comunicación como un proceso de negociación que ha de redefinir el punto de contacto entre científicos y público [...]. Ese punto de contacto busca crear un espacio donde generar nuevos conocimientos, actitudes y necesidades que han de asentarse sobre un sistema de conocimientos y creencias ya establecido. Y para ello utiliza la difusión [sic] masiva de un tipo particular de relato

social que, en confluencia con otros relatos sociales, influirá de manera directa sobre la gestión de la salud, la educación, la ecología e incluso el ocio de los ciudadanos.” (Galán, 2003, pp. 146-147)

Debemos tener siempre presente que cuando se hace divulgación se usa el lenguaje como un medio para intentar persuadir a otras personas. La influencia de la retórica de la comunicación de la ciencia siempre estará presente, por lo que el ejercicio de la divulgación debe ser consciente de su impacto social y la forma en que éste puede ser funcional a las estrategias de determinados agentes y sectores sociales. En aspectos tan complejos como pueden ser las tecnologías emergentes, la postura y las acciones de diferentes organizaciones sociales siempre son susceptibles de influencia a partir del enfoque manejado: la forma en que se discuten los diferentes temas técnicos y los aspectos sociales asociados a ellos.

### **Enfoques en la divulgación**

La información que se discute a través de la divulgación puede abordarse de múltiples maneras diferentes -o como diría Berrientos (1998), a través de distintos relatos globalizadores- sin perder fidelidad con los principios científicos en cuestión, o al menos con los debates actuales al respecto. Estas diferentes formas de abordar los temas son fundamentales para comprender el proceso de divulgación, en la medida que sirven para establecer la perspectiva desde la que las personas involucradas entienden el tema en cuestión. Y es que la forma de presentar la información ofrece mucha flexibilidad para influir en la postura que los participantes asumen respecto al tema abordado. Como señala Hilgartner (1990, p. 531):

“Los expertos tienen una gran libertad para definir qué aspectos de un asunto simplificar, cuánto simplificarlos, qué lenguaje y metáforas utilizar, así como los criterios a utilizar para ajustar sus presentaciones a sus públicos. Obviamente sería ingenuo asumir que sus representaciones simplificadas son políticamente neutrales. Por el contrario, una montaña de evidencia muestra que los expertos con frecuencia simplifican la ciencia con la idea de persuadir a su audiencia para apoyar sus objetivos. (...) Claramente, la libertad de que gozan los expertos al simplificar la ciencia es una forma de poder, útil para influir en el público.”

Dependiendo de quién promueve, financia o realiza un proceso de divulgación, existirán sesgos con un peso específico para definir las características -en cuanto a forma y fondo- del proceso de comunicación. De forma consciente o inconsciente, las estrategias de divulgación no se limitan a dar a conocer el quehacer de la CyT, sus resultados y métodos, además transmiten una visión de la relevancia social de un avance; “No se

trata, entonces, de tener claro solamente el conocimiento científico que se va a comunicar sino que el divulgador debe tener una postura social ante ese conocimiento. No hay divulgadores inocentes.” (Chamizo, 2000, p. 87) Aunque muchas acciones de divulgación buscan la “neutralidad” de limitarse a un abordaje técnico de los temas esto en sí mismo implica una postura social y resulta funcional a los intereses de sectores específicos. Con esto en mente es necesario hacer conciencia de las posturas del divulgador para trabajar en consecuencia, de forma que las respuestas generadas obedezcan al propósito que se busca y no resulten por casualidad.

Y es que, como señalan Elzinga y Jameson (1995, p. 574), los divulgadores y líderes de opinión influyen los marcos conceptuales en que se discuten las políticas de la ciencia; convirtiéndolas en una batalla retórica sobre la forma de interpretar la CyT. En estas disputas no todas las formas de presentar la información al público tienen el mismo impacto. Las estrategias de comunicación efectivas logran conectar un tema científico con algo que las personas consideran valioso o prioritario, dándole relevancia al asunto y sentido a los conocimientos que se construyen sobre el tema (Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1774). La misma información científica puede plantearse de diferentes maneras para alterar la forma en que las personas procesan la información (Berube et al., 2010, p. 34), haciendo que presten más atención a ciertas dimensiones del debate.

Los enfoques (*frames*) son paquetes interpretativos y líneas narrativas que el divulgador utiliza para establecer una conexión con las personas (o grupos) a los que se dirige y ayudan a las personas involucradas asimilar las implicaciones sociales de un avance. Son herramientas que ofrecen puntos de referencia y significado comunes entre científicos, comunicadores y sectores de público clave (Hellsten y Nerlich, citados por Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1770).

El enfoque es una realidad inevitable del proceso de divulgación de la CyT: es un error creer que puede existir información libre de enfoque (Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1770; Berube et al., 2010, p. 35). A través del proceso de comunicación el divulgador siempre asume una postura frente al tema que aborda; no es necesario, ni deseable, que el comunicador transmita por completo su visión al público con el que se comunica pero sí es esencial tenerla clara para no acabar dando pie a ideas que no se desea propagar.

Un enfoque efectivo es el que logra cierta relevancia o atractivo no solo para los individuos como tales sino que incide en las dinámicas grupales y puede motivar a las organizaciones para elaborar estrategias de acción. Históricamente los movimientos sociales han aprovechado los enfoques para movilizar a sus

miembros y articular diferentes grupos en coaliciones que se construyen a partir de una preocupación común (Nisbet y Scheufele, 2009, p. 1170).

Los diferentes sectores sociales rara vez están expuestos a un solo enfoque respecto a un avance científico-tecnológico, especialmente en el caso de los aspectos sociales y ambientales de un avance novedoso. Scheufele (2014, p. 13589) señala que la discusión pública de temas científicos se desarrolla a través de un ciclo predecible de enfoques en el discurso: se inicia con la emoción inicial sobre la promesa de progreso social y el potencial económico de las nuevas tecnologías; luego se pasa a las preocupaciones sobre las incertidumbres científicas, los riesgos y los dilemas morales; para finalmente ubicar la tecnología en términos de las controversias sociales que la rodean. Aunque en algunos casos esto se presenta como un ciclo, en términos cronológicos, también es posible que paralelamente la sociedad se encuentre con los tres elementos señalados: la emoción que empuja a la adopción de las nuevas tecnologías, las preocupaciones que cuestionan su uso o buscan una adopción cuidadosa y la polémica que surge a partir de los temas sociales que rodean los nuevos avances. La discusión, y el contraste entre estos tres enfoques, le ofrece elementos a los diferentes sectores sociales para establecer una postura sobre temas científico-tecnológicos emergentes. A partir de una “competencia de enfoques” una narrativa específica tendrá mayor influencia en las personas y las organizaciones en la medida que logre una resonancia cultural con ellas. La resonancia cultural se refiere a la dinámica que establece una conexión entre un elemento narrativo particular, o una interpretación, y las creencias o los valores compartidos por un grupo social (Priest, 2012, p. 68).

Para un buen manejo de los enfoques la divulgación debe combinar un panorama claro de los elementos técnicos que desea abordar a la par de los aspectos sociales de los mismos; el abordaje de una sola parte ofrece una visión parcial, sesgada, que limita la comprensión del fenómeno en cuestión. A continuación veremos la forma en que el discurso de divulgación puede articular estos elementos para construir y aprovechar un enfoque.

### **Formas de Pensamiento**

Para incidir en la opinión y comprensión que las personas tienen de la CyT, se debe tomar en cuenta la forma en que éstas procesan la información. El psicólogo norteamericano Jerome Bruner (2009, pp. 11-12) caracterizó dos modelos de función cognitiva con formas distintivas de ordenar la experiencia, de construir la realidad y comunicar conocimiento: el paradigmático (o lógico-científico) y el narrativo. Estos modelos,

complementarios e irreductibles el uno al otro (Negrete, 2008, p. 47), nos ofrecen elementos necesarios para construir enfoques efectivos para la divulgación de la CyT.

a) *Modo paradigmático*. Representa el ideal de un sistema formal de descripción y explicación de las cosas: clasifica los elementos particulares en categorías (o conceptos) que se relacionan entre sí a través de operaciones lógicas (Bruner, 2009, p. 12). Podríamos decir que aquí se encuentra la base de la estructura de abstracciones científicas:

“El razonamiento paradigmático es el método primario mediante el que los humanos convierten su experiencia en algo ordenado y consistente. Con él se producen redes cognitivas de conceptos que permiten familiarizarse con las experiencias a partir de elementos que reaparecen continuamente. Pero estas redes son, sin embargo, abstracciones de nuestra experiencia.” (Negrete, 2008, p. 52)

La CyT se estructuran de esta forma, es la construcción de teorías que permiten describir, explicar y predecir el comportamiento de fenómenos naturales. Bruner (2009, pp. 11-12) señala que muchas hipótesis científicas y matemáticas se construyen a partir de pequeñas historias o metáforas, pero solo alcanzan su madurez científica a través de un proceso de conversión a la verificabilidad, formal o empírica, y su capacidad no depende de sus orígenes dramáticos.

b) *Modo narrativo*. Las personas organizamos experiencias y memorias sobre todo de manera narrativa, a través de historias, mitos, justificaciones y relatos (Bruner, 1991, p. 4). Es un modo convencional de comunicación con fuerte arraigo cultural, que permite entender la acción humana a través de tramas. A diferencia de las construcciones científicas, que pueden ser verificadas como ciertas o falsas, las construcciones narrativas solo pueden aspirar a la verosimilitud (Bruner, 1991, p. 4). La clave para una narrativa exitosa es que resulte creíble.

Las narrativas son útiles para la divulgación científica a través de varios factores: facilitan la memorización a través de un marco que vincula diferentes elementos de información (Negrete, 2012, p. 47), son un medio preciso para representar y comunicar conocimientos, sirven como un efectivo detonador emocional (Negrete y Lartigue, 2004, p. 123-124), y además permiten incorporar la dimensión humana y social de la CyT. Apoyándose en recursos retóricos, la divulgación combina el discurso paradigmático con el narrativo para crear un enfoque capaz de *seducir* a su público, hacerlo partícipe de su visión de la CyT e incorporarlo a una forma específica de construir significado del tema abordado.

De forma semejante Macnaghten y colaboradores (2015, p. 4) destacan que la narrativa representa una ruta para una comprensión más simétrica de la vida social de la CyT; a través de un diálogo que aborda tanto el desarrollo de artefactos técnicos como las prácticas culturales que los hacen públicamente significativos. Se ayuda a las personas a darle sentido a los nuevos avances, dentro de su realidad, a través de una negociación de relatos de transformación. Para estos autores las narrativas operan de dos maneras: en primer lugar representan el mundo en un nivel de generalidad que busca reproducir una postura en una amplia gama de contextos; y en segunda instancia operan relatos -con tramas y personajes, roles y responsabilidades- que destacan las trayectorias de las dinámicas sociales involucradas en la CyT (Íbid). Con toda esta gama de posibilidades a disposición de la narrativa vemos que no es trivial sacar provecho al modo de pensamiento narrativo dentro de la divulgación: se requiere articular el conocimiento de los aspectos sociales de un tema y la habilidad para estructurarlos en un discurso coherente con los fines de la estrategia de comunicación pública de la CyT.

No todas las personas que hacen divulgación cuentan con la formación y la habilidad para lograr esta articulación de pensamiento paradigmático y narrativo, de hecho con frecuencia la especialización del trabajo científico dificulta este proceso. Conforme los avances de CyT se vuelven más complejos resulta casi natural que los expertos relacionados con los aspectos técnicos (físico-naturales) sean quienes realicen la tarea de divulgarlos. Más aún, es común escuchar que sólo los especialistas en avances de frontera tienen la capacidad (conocimiento) para divulgarlos. Sin embargo, a la vista de la discusión previa esto sería un grave error, porque pierde de vista todo un ámbito de relaciones sociales que escapa a su dominio académico. Así como también es un error pensar que alguien con formación exclusivamente social puede abordar el tema en su totalidad.

El problema de muchos científicos naturales al hacer divulgación de un tema novedoso o polémico, como las NT, es que carecen de la formación social y la habilidad retórica para complementar su base de pensamiento paradigmático con un sólido complemento narrativo. Además pocos tienen una formación social adecuada para asumir una postura consciente y construir un enfoque en consecuencia, reducen su visión a problemas meramente técnicos sin hacer un análisis de la riqueza de fenómenos sociales que están dejando de lado. Esto nos pone en una situación doblemente problemática: el abordaje abstracto de los conceptos complica la comprensión de los temas y, además, se limita la discusión al resultado formal del trabajo de investigación sin tener la oportunidad de conocer el contexto y la forma en que se produjo.

Por el contrario los científicos sociales divulgan con énfasis las relaciones sociales y poca atención a aspectos técnicos, dejando fuera uno de los ejes principales del trabajo científico-tecnológico. Incorporar tanto las relaciones técnicas como las sociales en la divulgación de la CyT no es sencillo; es necesario un trabajo interdisciplinario, con la participación de especialistas de diferentes ámbitos, para abordar los temas de forma integral.

### **Miradas a la divulgación**

A partir del enfoque que se elabora con la combinación de recursos paradigmáticos y narrativos se construyen las bases para un proceso de comunicación, que surge en un contexto específico que lo orienta a cumplir con metas bien definidas. Las características de una estrategia de divulgación no son casuales, aspectos como el modelo de divulgación usado, la información que se incluye y el enfoque con que se presenta responden a las condiciones de las personas u organizaciones que promueven el esfuerzo.

Anteriormente se daba por hecho que los divulgadores representaban los intereses de la comunidad científica o bien el ánimo de hacer partícipe a la sociedad de los avances de la CyT. Sin embargo ahora hay estrategias de comunicación pública que proceden de un gran número de sectores y, por tanto, representan múltiples posturas distintas: departamentos de relaciones públicas en universidades, dependencias gubernamentales, centros de investigación, agencias de noticias, pequeñas empresas, grandes corporaciones (como ramos que van desde farmacéuticas hasta electrónicas), organizaciones no gubernamentales, organismos internacionales, etc. Con tal diversidad de organizaciones involucradas no es posible poner todo el trabajo dentro de la misma cesta, la clasificación que podemos hacer en base al modelo o las formas de pensamiento que se usan para construir el enfoque no alcanza para distinguir las rutas que diferentes objetivos establecen para los procesos de divulgación.

Lejos de encontrarnos con actividades de divulgación homogéneas, semejantes en cuanto a objetivos y características, aparece una rica diversidad de esfuerzos que bien merece un trabajo para ser distinguida analíticamente. Reynoso (2012, p. 96) clasifica esta variedad a través de una tipificación de cinco miradas a la divulgación de la ciencia:

1) Artística/cultural. Considera las actividades de divulgación como un esfuerzo para mitigar la brecha de las dos culturas -con las ciencias en un lado y las humanidades y artes en el otro- que caracterizó Snow en su célebre conferencia de 1959. Esta mirada se sustenta en gran medida en el

placer que pueden ofrecer las actividades científicas al público y, en este sentido, encuentra un fuerte vínculo del punto de *Encantar* en el modelo AEIOU.

Reynoso (Íbid) señala que se trata de la vía que apareció en los años pioneros de la divulgación, en que sobre la marcha -de forma casi artesanal- se buscó deleitar al público emulando las características de la literatura consagrada: está bien escrita, aborda temas de interés, denota la cultura del autor, es original y apela al lado afectivo y al placer artístico del autor. No toda la divulgación se hace por medios escritos pero diferentes medios pueden aprovechar recursos más allá de lo literario: a través de diferentes expresiones artísticas -como el teatro, las artes plásticas, la música- y elementos culturales -televisión, deporte, cocina- que ofrecen elementos para facilitar la diversión en la divulgación.

2) Educativa. Aquí el trabajo de divulgación se nutre de las reflexiones sobre cómo se aprende en ámbitos extra-escolares, es decir, se reconoce a la divulgación como una forma de educación no formal. Las estrategias que se insertan en esta mirada se concentran en dos elementos fundamentales: el aprendizaje de diferentes aspectos relacionados con la ciencia (conocimientos, historia, contexto, métodos), así como el cambio de actitudes respecto a la ciencia.

La gran ventaja de esta ruta es el amplio acervo de trabajo psicológico y didáctico que respalda el trabajo de la educación en CyT: se ofrece todo un arsenal de teorías pedagógicas que sirven al divulgador para promover procesos exitosos en contextos muy variados (García, 2015, p. 11). Los principales escenarios donde se promueve esta mirada son los museos y centros de ciencias, los grupos dedicados a talleres y los clubes de ciencia.

3) Comercial. Se conciben aquí los productos y servicios de la divulgación como una mercancía que puede ser comprada por dos sectores de clientes potenciales: los patrocinadores interesados en dar a conocer un tema particular con un enfoque que beneficia a sus intereses, o bien los destinatarios que desean aprovechar diferentes tipos de productos para acercarse a la ciencia.

La CyT son parte esencial del sistema capitalista y la comunicación es un factor clave en el trabajo científico-tecnológico, resulta lógico que la idea de privatizar y comercializar alcanzara a la divulgación. La búsqueda de ganancias se convierte en un motor para la creación de revistas,

museos, juguetes didácticos, libros, canales de televisión y contenido para internet. Ese mismo afán de lucro se convierte en un factor de competencia, un factor para ir más allá y elevar la calidad de los procesos de divulgación.

4) Sociopolítica. Representa un resultado del movimiento de estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad, en los que se reconoce la naturaleza social de la CyT y la trascendencia que estas tienen para su entorno. La capacidad científico-tecnológica de un país y las decisiones que se toman sobre el rumbo del trabajo en la materia tienen efectos importantes sobre las condiciones de vida de su sociedad. Entonces la mirada sociopolítica entiende a la divulgación como el camino que permite a los ciudadanos y líderes (políticos o económicos) comprender y discutir el papel social, político y económico de los nuevos avances. Paralelamente, y en congruencia con la visión interactiva que hemos planteado repetidamente en este trabajo, esta ruta implica también discutir la influencia del contexto socio-económico en la evolución de la CyT.

5) Propagandística. Son las relaciones públicas de la ciencia en general, de alguna disciplina específica o de un centro de trabajo en particular: busca acercar al público a la CyT, a través de una perspectiva llena de bondades, para crear un ambiente propicio para su desarrollo y obtener un mayor financiamiento para la investigación (Reynoso, 2012, p. 102). Aunque en las otras miradas puede haber intersecciones con cualquier modelo de divulgación, este caso encuentra una gran coincidencia con muchos de los principios que identifican el modelo de déficit: convencer al público de incorporarse a una visión particular de la ciencia, la tecnología o de algún avance específico. Reynoso asocia esta mirada con los divulgadores que trabajan directamente en institutos de investigación pero se puede ampliar la visión para incluir también al trabajo de divulgación que realizan diferentes tipos de empresas para promover la adopción social de sus productos.

A pesar de que las miradas que nos presenta Reynoso son perfectamente distinguibles entre sí, no se trata de perspectivas excluyentes. En mayor o menor medida pueden coincidir unas con otras para reforzar sus objetivos. Por ejemplo, la acción propagandística de un centro de investigación puede recurrir a la visión hedonista latente en la mirada artística para detonar reacciones emotivas positivas de su público sobre el tema en cuestión; o bien, una revista

comercial puede llevar a cabo un análisis sociopolítico de un avance particular. En cualquier caso siempre hay una mirada principal para un proceso específico y resulta una herramienta de gran utilidad para relacionar el contexto y las características de la acción de divulgación.

### **Una perspectiva de conjunto aplicada**

El análisis de la divulgación de la CyT no es una tarea sencilla, en la medida que encontramos un gran número de factores involucrados para determinar la forma en que una estrategia hace partícipe a la sociedad en la discusión de un tema, así como su impacto en las personas y sectores sociales involucrados. Las categorías que hemos revisado en los apartados anteriores son herramientas básicas para facilitar los estudios en este campo, pero debemos señalar que su mejor uso se realiza desde una perspectiva integral; para comprender a fondo las características de una estrategia específica o de un programa de gran calado hay que ver cómo se articulan la mirada, el enfoque y el modelo de divulgación usado en cada caso. Un procesamiento aislado de la información, aunque útil para el abordaje cuantitativo, resulta parcial y queda corto para el estudio completo de la divulgación en su contexto y con sus características.

La combinación que distintos enfoques pueden establecer con el público a partir de las diferentes miradas y con base en los distintos modelos de divulgación, genera un amplio abanico de posibilidades para las características del proceso en el que se involucrará a los sectores del público. Esta visión de conjunto resulta especialmente relevante cuando hablamos de establecer estrategias que permitan la discusión de un sistema científico-tecnológico emergente y esotérico como las nanotecnologías (NT): un conjunto de avances que nadie puede ver directamente, pocos conocen pero ya se están adentrando en múltiples aspectos de nuestras vidas. La forma de articular los diferentes aspectos relevantes para la divulgación, incluso cuando no se hace de forma planeada, afecta la postura social frente a un tema tan relevante como delicado; esto puede quedarse en un tema de percepción pública pero también puede detonar acciones sociales para promover o detener el avance de las NT.

“En muchos casos existe una delgada línea entre las actividades de compromiso público y los estudios de mercado: las primeras se presentan como un intento de darle a personas comunes una voz en cómo se desarrolla la tecnología, mientras que los segundos siguen un deseo instrumental de probar las aguas de la

opinión pública en relación a lo que las personas van a aprobar, aceptar y comprar en una economía de libre mercado. En gran medida son las dos caras de la misma moneda. En cualquier caso las dos motivaciones para “hacer las cosas diferente” con las nanotecnologías tienen sus raíces en las controversias previas de la biotecnología. Ciertamente hay cosas importantes que podemos aprender de la biotecnología sobre nanotecnología y opinión pública” (Priest, 2008, p. 222)

Con el afán de enriquecernos con experiencias previas, que además puede servir como un caso para aterrizar algunos de los aspectos teóricos de la divulgación que recién hemos discutido, a continuación se ofrece un panorama general del caso de la biotecnología y los alimentos transgénicos.

### **La experiencia de la divulgación de la biotecnología**

La biotecnología -como uso de seres vivos para obtener productos útiles- no es algo nuevo: tiene 10,000 años de antigüedad. Desde que el ser humano empezó a seleccionar cultivos y cruces de animales se han modificado seres vivos a conveniencia, a tal punto que hoy en día “casi ninguno de nuestros alimentos comunes puede considerarse libre de modificación genética por parte de los humanos” (McHughen, 2008, p. 37). Ya en un sentido moderno la biotecnología se asocia con la ingeniería genética, una tecnología que se basa en cuatro conceptos básicos (Íbid):

1. Todos los organismos están hechos de células y productos celulares.
2. Cada célula de un organismo contiene el mismo conjunto de genes.
3. Los genes contienen toda la información necesaria para hacer un organismo completo.
4. Todos los organismos comparten el mismo lenguaje genético.

El último punto es fundamental para que el Ácido Desoxirribonucleico (ADN), la cadena de moléculas que forma los genes, pueda transferirse entre diferentes seres vivos: los genes procedentes de un organismo pueden ser leídos y comprendidos cuando son transferidos a cualquier otro (McHughen, 2008, p. 37); es decir cuando se produce un organismo modificado genéticamente (OMG) o transgénico.

La primera planta modificada genéticamente se produjo en 1983 y a inicios de los noventa China fue el primer país en comercializar un cultivo transgénico con una variedad de tabaco resistente a virus; para 1994 el transgénico de tomate que se conserva por mayor tiempo después de ser cosechado fue aprobado por la

Administración de Alimentos y Drogas para comercializarse en Estados Unidos (Bawa y Anilakumar, 2013, pp. 1035-1036). Actualmente se encuentran en el mercado versiones transgénicas de algodón, soya, papa, berenjena, fresas, maíz, tomates, lechuga, melón y zanahora, entre otros (Íbid). Aunque los casos más polémicos se encuentran en la agricultura, los OMG no se limitan a este campo -conocido como biotecnología verde- sino que también incluyen a la biotecnología roja: procesos médicos para la producción de fármacos como la insulina, dornasa alfa y la interferón (McHughen, 2008, p. 39).

En la discusión pública las aplicaciones de biotecnología verde han causado mucho más revuelo que los casos de biotecnología roja. Es por eso que en las últimas décadas empresas y agencias gubernamentales han emprendido la divulgación de los alimentos transgénicos desde una mirada propagandística: presentándolos como una panacea para convencer a los consumidores de adoptarlos en virtud de ventajas como la eliminación de propiedades no deseadas en ciertos alimentos, un crecimiento más rápido que el de otros cultivos, la posibilidad de cultivar en condiciones climáticas desfavorables y una mejora en el sabor y la cantidad de nutrientes (Bawa y Anilakumar, 2013, pp. 1038). Pero paralelamente aparecieron preocupaciones respecto a los alimentos transgénicos: el posible desarrollo de nuevas enfermedades inmunes a los medicamentos, la falta de conocimiento sobre sus efectos a largo plazo en el cuerpo humano, la ausencia de etiquetas que indiquen que un alimentos es transgénico, así como la pérdida de control en la producción de alimentos en los países periféricos (Íbid, p. 1039-1040).

Es común adoptar un enfoque que pone en una balanza los riesgos y beneficios para ver a qué lado se inclina y, en su caso, justificar el impulso y la adopción de una tecnología. Pero este tipo de abordaje de riesgos contra beneficios no basta, toda vez que -como señala Winner (citado por Goncuoglu-Eser, 2004, p. 15)- legitima la aceptación de una nueva tecnología sin cuestionar los valores que lleva implícitos. En este sentido, Buttel (1993, p. 7) destaca la esencia “productivista” de la ideología detrás de los OMG; con un énfasis en los beneficios de las nuevas tecnologías mientras se oculta la forma en que estos se distribuyen y los costos sociales del cambio tecnológico. Aquí, como contraste a la postura gubernamental y comercial, vemos una mirada sociopolítica que enriquece la discusión social sobre el tema. El manejo de los OMG con un enfoque de maximización de utilidades, guiado por las corporaciones, opaca la perspectiva del desarrollo de estas tecnologías con propósitos humanitarios (Íbid) desde la que se ha buscado presentar a la biotecnología como una herramienta para acabar con el hambre en el mundo.

Frente a las preocupaciones latentes, y las incongruencias recién planteadas, para finales de la década de 1990 los OMG se habían convertido en un tema controvertido. Las preocupaciones se centraron en las posibles -e imprevistas- consecuencias para la salud pública y la ecología, así como en las implicaciones para la agricultura y la producción de alimentos (McNaghten, 2008, p. 114). El debate que despertó el tema estimuló la formación de organizaciones no gubernamentales (ONGs) con interés explícito en los OMG, que generaron una gran demanda de participación pública en el tema (Bawa y Anilakumar, 2013, pp. 1041-1042). Aparecieron así importantes casos de promoción de divulgación de las biotecnologías desde la demanda de sectores del público interesados por el tema, y sobre todo con la misión de trascender las miradas dominantes en la discusión para enriquecer del tema.

De esta forma se articuló un esfuerzo de divulgación interactiva con una mirada sociopolítica, aunque la lucha de fondo aspiraba a llegar a una participación tipo compromiso público en el tema esto se quedó muy lejos de incidir en las políticas públicas. La discusión no se limitó a los aspectos técnicos: abarcó todo un abanico de preocupaciones sociales que incluyen nuevas formas de privatización del conocimiento, cambio en los patrones de propiedad y control de la cadena de alimentos, problemas de responsabilidad empresarial y cercanía de las corporaciones a los gobiernos, intensificación de las relaciones de la ciencia con los mundos del poder y el comercio, así como visiones encontradas de lo que se entiende por desarrollo sustentable (McNaghten, 2008, p. 114).

De por sí se trata de elementos esenciales en la discusión social sobre CyT, pero la polémica se acentuó por la falta de una discusión pública previa al avance de la investigación en organismos modificados genéticamente y el desarrollo de alimentos transgénicos. La ruta fue definida por una coalición de universidades, instituciones de investigación, agencias gubernamentales y corporaciones, mientras que los productos fueron introducidos silenciosamente en el mercado (Goncuoglu-Eser, 2004, p. 17). La elección de esta ruta se vio influenciada por intereses específicos de cada sector: las universidades encontraron en los OMG la oportunidad de acceder a abundantes recursos, las agencias gubernamentales vieron una innovación que podría establecer una ventaja nacional en CyT, y el sector privado los OMG halló una nueva oportunidad de redituables aplicaciones comerciales (Íbid). Así, la falta de participación social en la decisión de avanzar en el desarrollo de los OMG, así como en la definición del rumbo que habrían de tomar, propició un ambiente de desconfianza en un momento de escepticismo en la posición del público frente a nuevos avances de la CyT.

Como señala McHughen (2008, pp. 43-44) antes el éxito o fracaso de un desarrollo científico nuevo en el mercado dependía de la adopción pública; si los riesgos del nuevo producto parecían razonables respecto al beneficio ofrecido había una respuesta exitosa. A lo largo del siglo XX, los aspectos de riesgo empezaron a abordarse antes de la entrada al mercado de los productos, para asegurar a los consumidores que productos presuntamente peligrosos en realidad son seguros para usarse. Inicialmente la sociedad parecía satisfecha con el trabajo de científicos y reguladores para asegurar la seguridad de los nuevos avances pero la confianza se rompió como consecuencia de una serie de errores de alto perfil, como las catástrofes en plantas nucleares de Estados Unidos, la Unión Soviética y, en un hecho mucho más reciente, Japón. “Como resultado, muchos consumidores ahora exigen un mayor nivel de responsabilidad por parte de científicos y agencias reguladoras, así como una mayor participación pública en el proceso de evaluación de riesgos” (Íbid). Un gran error de la comunidad de biotecnología, que señala el propio McHughen (2008, p. 45), fue su fracaso en cumplir con la obligación de explicar a la sociedad qué era (y qué no era) la biotecnología, cuáles eran sus riesgos reales y qué acciones se llevaron a cabo para minimizar esos riesgos. Como consecuencia la sociedad fue mucho más susceptible al alarmismo, ya que tenía pocos recursos para desmentirlo.

De acuerdo a Priest (1994) durante los primeros años de cobertura mediática de la biotecnología aplicada a la agricultura se enfatizó en los beneficios y ventajas económicas sin abordar los posibles riesgos y aspectos éticos relevantes. Pese al panorama optimista la sociedad no recibió favorablemente estas tecnologías, ya que empezaron a aparecer discusiones -promovidas por las nuevas organizaciones no gubernamentales (ONGs)- sobre los riesgos de los alimentos transgénicos; enfatizando el hecho de que a los consumidores no se les dio la oportunidad de decidir si querían consumirlos (Goncuoglu-Eser, 2004, p. 19).

Frente a la desconfianza del público ante científicos y agencias reguladoras, el debate de los OMG se vio alimentado por enfoques de miedo y manipulación emocional mientras que por el otro se destacaron las promesas de beneficios irreales y exagerados (McHughen, 2008, p. 49). Fue así que la poca información disponible se combinó con el escepticismo existente por problemas tecnológicos previos y el discurso alarmista de grupos opositores a los OMG para generar un ambiente de rechazo para estas nuevas tecnologías. Sandler (2006, pp. 57-58) resume la situación de la siguiente manera:

1. Hubo una escasez de comunicación entre quienes controlaron el desarrollo de los OMG y el público sobre lo que son estas tecnologías, sus posibles riesgos y beneficios, así como la forma en que los riesgos serían

manejados. Cuando aparecieron preocupaciones por parte del público con frecuencia fueron ignoradas o descartadas, y cuando se intentó un compromiso público hubo un fracaso general para hacerlo de forma que se respondiera a las preocupaciones de los actores involucrados.

2. La falta de comunicación condujo a un ambiente público de sospecha, falta de entendimiento y propenso a una caracterización errónea de las tecnologías, lo cual aprovecharon los opositores a los transgénicos.

3. El resultado fue una reacción negativa contra los OMG.

4. Las consecuencias negativas de esta reacción han sido tecnológicas, económicas y sociales. Se ha retrasado el desarrollo de nuevas biotecnologías agrícolas, la industria ha perdido miles de millones de dólares en ganancias, y se ha detenido la difusión de tecnologías y distribución de alimentos a muchas personas que se habrían beneficiado con ellos.

Así, múltiples perspectivas consideran a los OMG como un caso ejemplar de fracaso en la introducción social de una tecnología emergente (Joly y Kaufmann, 2008, p. 227; Thomson, 2008, p. 126); convirtiéndolas en un referente que debe ser tomado en cuenta para el avance de cualquier nuevo sistema tecnológico. Mellon (2008, pp. 86-87) plantea tres lecciones que pueden aprenderse de este caso,

a) Para la sociedad, ser cuidadosa del bullicio. La biotecnología llegó acompañada de una serie de promesas revolucionarias, casi utópicas, que -a pesar de avances importantes- no se ha acercado a cumplir y han generado desencanto en diferentes sectores. Y además, un problema del bullicio es su capacidad para desviar la inversión; está el caso de la reproducción tradicional de cultivos, tecnología que ha mostrado ser más poderosa para la mejora los organismos pero que perdió recursos frente a la ingeniería genética (Íbid).

b) Para la industria, adoptar medidas fuertes de regulación. La fuerza de un sistema regulatorio depende mucho de la industria, el gobierno rara vez lleva las regulaciones más allá de lo que las empresas aceptan. Para la biotecnología muchos países establecieron sistemas de regulación débiles que ahorraron tiempo y dinero en el corto plazo pero pasaron la factura a largo plazo con la pérdida de confianza social frente al manejo de riesgos en general y a la seguridad de los OMG en particular.

c) Para las ONGs y los activistas, buscar nuevas instituciones y mecanismos para incorporar múltiples voces en el debate de tecnologías emergentes. En el caso de los OMG las ONGs lograron incorporar a

consumidores, granjeros, ecologistas y otros sectores en el debate; pero sus estrategias tienen límites y aún no se han establecido espacios específicos para incorporar a los diferentes actores en la toma de decisiones críticas sobre nuevas tecnologías. La creación de mecanismos e instituciones específicos para el compromiso público con tecnologías emergentes es un gran reto a futuro.

Y una lección extra, útil para nuestra discusión sobre comunicación de la CyT, se puede tomar del trabajo de McHughen (2008, pp. 51-52):

d) Para los expertos en NT, impulsar actividades de divulgación del tema y prepararse para trabajar con todo tipo de sectores del público. En los primeros años de los OMG pocos especialistas intentaron divulgar el tema y aquellos que lo hicieron con frecuencia acabaron en debates que no siempre supieron manejar de forma efectiva. Los científicos que se involucran en la divulgación de un sistema científico-tecnológico emergente, con aspectos polémicos, deben prepararse para divulgar de forma efectiva con diferentes sectores del público no especializado y reconocer que las habilidades necesarias requieren de una formación específica o el apoyo de expertos en divulgación.

El paralelismo esencial entre la biotecnología y las NT se encuentra en que se trata de sistemas científico-tecnológicos emergentes, con un grado de comprensión pública muy bajo y diferentes elementos polémicos en lo técnico y en lo social. Aun así es importante señalar diferencias trascendentes -planteadas por Thompson (2008, pp. 128-129)- a tomar en cuenta: las tecnologías alimenticias, y los medicamentos, son especialmente sensibles porque se ingieren directamente en nuestros cuerpos; la comida se asocia culturalmente con la naturaleza a la vez que las tecnologías no alimentarias ya se contemplan como artificiales; mientras que las biotecnologías están diseñadas para liberarse en el ambiente, las NT se diseñan para estar contenidas; la biotecnología en agro-alimentos se definió en base a técnicas específicas mientras que las NT comprenden un amplio conjunto de técnicas y actividades de investigación integradas por el tamaño al que operan; y, finalmente, los alimentos transgénicos se le presentaron al público en forma de aplicaciones que no le ofrecían un beneficio directo a los consumidores.

En todo caso, la lección esencial sobre los OMG mantiene su validez: el uso de estrategias de divulgación tipo déficit y con una mirada propagandística para promover una tecnología emergente complica una adopción social exitosa, pues transmite la idea de que los diferentes sectores sociales no fueron considerados para definir prioridades pero sí deben asumir los riesgos inherentes a los nuevos avances (Joly

y Kaufmann, 2008, p. 227). Para los OMG esta misma situación devino en una ventaja para la sociedad: la resistencia al avance de la biotecnología detonó un proceso que involucró en el debate a muchas organizaciones que previamente habían sido excluidas (Mellon, 2008, p. 81). Las NT, como la biotecnología antes que ellas, prometen grandes beneficios pero también implican riesgos considerables; por lo que si han de tener un desarrollo exitoso éste se debe apoyar en los diferentes sectores de la sociedad para legitimar, enriquecer y potenciar su avance.

### **La divulgación en la construcción de la ciencia y tecnología**

En base a toda la discusión anterior, desde los fundamentos de la divulgación hasta el caso específico de la biotecnología, vemos que no tiene caso pretender separar el proceso de construcción de la CyT de su divulgación. Jurdant (citado por Calvo, 2002) afirma que la divulgación no debe entenderse como transmisión de información al público sino como un elemento esencial del desarrollo científico, es un proceso clave en la naturaleza social de la CyT. La creación de objetos científico-tecnológicos siempre implica la existencia de un público al cual se le darán a conocer y que será parte de su legitimidad (Arellano, 1999).

Está claro que la validez técnica procede de los expertos y se consigue a través de la difusión, sin embargo –como vimos con el ejemplo de la biotecnología- la discusión pública tiene una relevancia creciente para legitimar la inversión, confianza y adopción de sistemas científico-tecnológicos emergentes. La comunicación entre expertos y diferentes sectores sociales lleva a una reflexión sobre los aspectos sociales del trabajo científico-tecnológico; aquí las personas y organizaciones involucradas se adentran en asuntos políticos, económicos y éticos que surgen de avances científicos pero no tienen una respuesta científica (Scheufele, 2014, p. 13586). En vez de la concepción tradicional de la divulgación, como una discusión puramente técnica, aparece ahora una realidad inherentemente política para esta actividad.

Aquí resalta uno de los problemas que abordamos anteriormente en nuestra crítica a los estudios de comunicación pública de la CyT: el individualismo metodológico. Un análisis político de la trascendencia de la divulgación difícilmente puede captar la esencia de los debates sobre sistemas científico-tecnológicos emergentes en función de las reacciones individuales a los

avances y a la forma de presentarlos. La postura y retroalimentación de una persona respecto a la forma en que se manejan los aspectos sociales de una tecnología puede ser valiosa en el proceso de comunicación, sin embargo su reacción aislada difícilmente resulta relevante para acciones de gran calado. En cambio, las organizaciones sociales tienen un impacto mucho más grande en la discusión y en la elección del rumbo para las tecnologías emergentes y se debe considerar su peso con más relevancia en el análisis de la discusión pública del tema. Esta dinámica de interacción entre colectivos será abordada a más detalle en la sección 2.3, pero por ahora nos limitaremos a decir que la relación y articulación entre diferentes sectores resulta central dentro de nuestra concepción política de la divulgación como parte de la construcción social de la CyT.

En este contexto político aparece una dualidad latente para la definición del rumbo del avance científico tecnológico, la cual Bensaude-Vincent (2012) caracteriza como la pugna latente entre el empuje tecnológico (*technological push*) y el jalón social (*social pull*). Desde la revolución industrial el camino científico-tecnológico –materializado en artefactos creados por especialistas y empresarios- se ubicó como un referente para moldear a la sociedad, lo cual llevó a la idea implícita de que los avances están predestinados a existir de una forma específica; en las últimas décadas se empezó a reconocer la importancia de las decisiones tecnológicas para redefinir la identidad social (Íbid) y, en consecuencia, se asignó gran peso a la definición de rumbo científico-tecnológico que moldeará su entorno social. La comunicación pública de la CyT aparece entonces como una herramienta fundamental para la construcción de sociedades democráticas (Lewenstein, 2016).

Hasta ahora el avance de la divulgación, en su rol político dentro de la co-evolución de ciencia, tecnología y sociedad, se ha visto limitado en gran medida por el trabajo aislado de los expertos en ciencias duras y en disciplinas sociales (Scheufele, 2014). Los alcances de la CyT en la sociedad moderna exigen una comunicación pública que vaya mucho más allá de la comprensión de los fenómenos en cuestión o el mero análisis de riesgos y beneficios (así como su percepción), a través de una colaboración técnica y social que capture la complejidad de la tarea y ofrezca elementos valiosos para su avance. El presente trabajo busca recuperar esta esencia, de combinar lo técnico y lo social, para aportar al análisis y la práctica de la divulgación de NT.

## 2.2 Ciencia, tecnología e innovación

Hoy en día, las actividades de Ciencia y Tecnología (CyT) se encuentran tan integradas unas con otras que resulta complicado establecer un límite explícito entre ellas; y esto no se debe solamente a su labor estrictamente técnica, sino que se ha visto influido por la acción del sistema capitalista:

“Una de las grandes transformaciones del capitalismo (...) fue su capacidad de apropiación y transformación de la ciencia para la generación de valor económico. Esa transformación es lo que se llama «matrimonio de la ciencia y la tecnología» y se produjo como un proceso de creciente formalización científica de los conocimientos tecnológicos aplicados a la producción, a la vez que una creciente incorporación de recursos tecnológicos para la actividad científica.” (Bianchi, 2009, p. 52)

El sistema capitalista tiende a incorporar todos los sectores sociales a la dinámica del capital. Esto significa la mercantilización de las actividades; y la ciencia no escapa a esta fuerza. De allí que la tecnología, que en muchos casos surge como derivado práctico de la ciencia y es más cercana al mercado, impulse el desarrollo científico en su rumbo, terminando ambas actividades interligándose. Así, la evolución de la relación ciencia-tecnología no se ha limitado a la integración de sus actividades, su impacto ha crecido para llamar la atención de las grandes empresas que ahora concentran una gran parte de las actividades de investigación y desarrollo (I+D) en sus divisiones tecnológicas. “Se está formando una combinación tripartita de ciencia-tecnología-negocios, la cual es una estructura integrada cualitativamente nueva más que una simple combinación externa de los tres ingredientes” (Andreev y Butyrin, 2011, p. 75)

Atrás ha quedado la ciencia universal, abierta, escéptica y de acceso común -tal como la representa el ethos de Merton- para pasar a una gradual privatización de la empresa científico-tecnológica. El proceso de producción se ha convertido en esfera de aplicación de la CyT para convertirla en un factor del proceso productivo (Figuroa, 1986, p. 41). Tal como el capital subsume al trabajo inmediato, la producción capitalista de CyT contempla que los investigadores intercambien sus facultades y capacidades intelectuales -como fuerza de trabajo- por un salario (Ibíd, p. 46) y que los productos de su trabajo sean enajenados por el capital (Ciccotti et al., 1979, p. 83). El capital ha aprovechado a la CyT para expandirse a través de la innovación continua en todas las esferas de la vida, la creación de nuevas mercancías, nuevas tecnologías, nuevas ideas y nuevas formas sociales (Rose y Rose, 1979, p. 49). Aquí entra en escena un concepto fundamental para nuestro análisis: la innovación.

Para Schumpeter (1939, p. 84) la innovación consiste en combinar factores productivos de una nueva manera; esto incluye los casos de nuevas mercancías, nuevas formas de organización productiva, la apertura de nuevos mercados, el uso de nuevas materias primas, etc. No todas las innovaciones requieren de la CyT; es posible entender y crear nuevas combinaciones a través de conocimiento empírico, de aprender al hacer y aprender al usar.

En todo caso existe un hecho ineludible: la CyT establecen límites de lo que es posible hacer desde el punto de vista técnico para un momento y lugar específicos. Como lo diría Celso Furtado (1974, p. 151): “la economía industrial sólo encuentra límites de expansión del lado de la oferta, en la propia capacidad del hombre para ahondar en el conocimiento del mundo en que vive.” Las reglas que rigen los fenómenos naturales establecen los límites para la capacidad de acción de artefactos tecnológicos, con lo que entender estas reglas ofrece la posibilidad de aprovecharlas para obtener un beneficio económico. En este sentido Foray (2004, pp. 54-55) señala que, aún sin ser indispensable, un abordaje científico contribuye a la innovación de tres maneras:

1. Ofrece una base más sistemática y efectiva para los descubrimientos y las innovaciones.
2. Permite un mayor control de los nuevos productos y procesos introducidos.
3. Puede dar origen a productos y servicios completamente nuevos.

Y podríamos agregar un punto extra para enriquecer lo planteado por Foray:

4. Codifica el conocimiento y la información para hacer posible su reproducción por otras personas, así como permitir la propiedad sobre la información y su comercialización.

Estas ventajas han conducido a un creciente uso productivo de la CyT, que se ve reflejado en una notable reducción del periodo de gestación de nuevos productos (World Bank, 2007, p. 12); el proceso descubrimiento-invencción-innovación, que en el pasado requería de varias décadas se ha reducido hasta llegar a unos cuantos años en el último medio siglo. Por ejemplo, el grafeno -un material muy importante para las nanotecnologías- fue aislado y caracterizado por vez primera en 2004 y para 2012 ya entraba al mercado el primer producto que aprovecha sus propiedades extraordinarias; a mediados de 2015 un gran número de productos ya incluían grafeno en sus componentes: pantallas para teléfonos móviles, sistemas de enfriamiento para computadoras, focos incandescentes, así como múltiples artículos deportivos (raquetas, cascos, esquis y llantas de bicicleta). Todos estos son ejemplos elocuentes del matrimonio antes señalado entre la ciencia y la tecnología. Las tecnologías basadas en grafeno llegaron a competir con otras que

difícilmente podrán igualar sus propiedades mecánicas, térmicas y electrónicas, con lo que es probable que en muchos casos los nuevos avances desplacen tecnologías previas; incluso algunas de reciente creación.

La presión del mercado también se manifiesta en la rápida obsolescencia de los productos, que mete a las empresas en una carrera por mantenerse permanentemente innovando, so riesgo de que sus productos resulten obsoletos aún antes de venderlos (Foladori, 1990). De esta manera la innovación se convierte en impulso fundamental para el motor capitalista (Schumpeter, 1994 [1943], p. 82), con su esencia en el proceso de destrucción creativa en que lo nuevo desplaza lo que ya existe (Íbid, p. 83).

Aunque esta dinámica se ha acentuado en los últimos cien años, no se trata de una situación nueva. Veblen (Citado por Cypher, 2014, p. 3) ubica la *curiosidad sin aplicación (idle curiosity)*, que históricamente se presentó en el renacimiento europeo y luego en la Revolución Industrial, como un factor importante detrás de la innovación; en tanto que abre camino para entender el funcionamiento de la naturaleza y encontrar formas de usar sus principios para crear aparatos con propiedades útiles. Entonces, con la importancia latente de la innovación y el cambio tecnológico en el sistema capitalista, la curiosidad cada vez se hizo más aplicada para dar paso a una *curiosidad organizada* (Íbid). El ímpetu por entender y aplicar los conocimientos fue creciendo hasta ubicar a la CyT como actividades esenciales dentro del capitalismo. Pero en los países periféricos, sobre todo en América Latina, no hay un espíritu de curiosidad sin aplicación y aún menos un entorno socio-cultural favorable a la curiosidad organizada: las condiciones estructurales no son propicias para impulsar una transformación basada en la innovación.

Como señaló Marx (1972 [1867], pp. 407-408), la base técnica de la industria capitalista es en esencia revolucionaria por la influencia de los avances científico-tecnológicos, nunca se considera la forma de un proceso de producción como definitiva. De esta manera:

“El elemento definitivo más importante del capitalismo como modo de producción, no es tanto lo que en él se produce (naturaleza de los bienes y servicios producidos), sino la manera como se hace, a partir de la producción en gran escala por medio de un sistema integrado de máquinas y equipo mecánico movidos por energía inanimada, mediante la utilización de trabajo asalariado con amplia división del trabajo y el empleo de la ciencia y la innovación tecnológica, que es lo que determina las características y la dinámica tecnoeconómica del sistema.” (Dabat, 2009, p. 61)

Con la investigación y los avances de la CyT como herramientas esenciales de la innovación, los empresarios deben adecuarse -o incluso adelantarse- a los nuevos avances para sobrevivir; la divulgación que les permite enterarse de los avances de frontera resulta esencial para sus intereses, toda vez que si logran apropiarlos cuentan con los medios para definir el nuevo rumbo tecnológico a seguir en una sociedad. Pero los empresarios no están solos en este proceso de innovación, hay muchos avances que no habrían sido viables sin la intervención de un gobierno - como señala Weiss (2014) para el caso de Estados Unidos- que ofrece una fuerte inversión anticipada que no verá rendimientos durante décadas; tal es el caso de ejemplos como los satélites de telecomunicaciones, la computadora personal y la internet. Y así como el respaldo del Estado fue esencial para dar vida a innovaciones de gran impacto, la capacidad de los diferentes centros de investigación -en colaboración con la industria- fue un elemento fundamental. En todo caso, la capacidad colectiva de combinar los avances de la CyT con la experiencia empírica para crear, adoptar y difundir nuevos aparatos y técnicas para responder a necesidades y problemas sociales se convierte en clave para la reproducción expandida del sistema capitalista. Las organizaciones - o incluso naciones- conservadoras o incapaces de innovar, se ven condenadas al rezago ante aquellas con situaciones favorables en este aspecto.

“En un sentido significativo el desarrollo económico es indistinguible de la aplicación de conocimientos tecnológicos a la producción y la organización. A falta de cambio tecnológico continuo, el crecimiento económico se enlentece y el desarrollo eventualmente fracasa.”

(Cypher y Dietz, 2004, p. 380)

Aquí la idea de fracaso o rezago no se limita al plano económico, también se relaciona con la imposibilidad de responder a otros tipos de problemas sociales. La incapacidad para innovar puede surgir de factores como la inercia del sistema, que frena el avance de nuevas combinaciones productivas, o el temor de las personas y organizaciones a intentar cosas nuevas. Pero aunque se eliminen las trabas dentro del sistema, la innovación solo es posible en las sociedades capaces de cultivar la creatividad.

Crear implica producir algo nuevo o construir rutas nuevas para ideas previas. Perroux (1964, p. 651) destaca a la creación como el eje de la invención de una nueva vida. Las organizaciones que crean las innovaciones, dándoles formas específicas, definen la manera en que van a vivir las

personas que deberán usarlas. En este sentido, y en cierta medida, la creación de la innovación puede definir el rumbo de la sociedad.

El proceso de innovación se opone a la rutina y la repetición, requiere de actores y organizaciones con virtudes específicas para encontrar nuevas combinaciones de factores productivos y resolver problemas socio-económicos. En su búsqueda por construir una nueva ruta para la sociedad, la creación innovadora siempre implica algo inesperado, irresistible y hasta perturbador, en busca de grandes recompensas sin detenerse por los altos riesgos implícitos (Mitchel et al., 2003, p. 17). Las personas e instituciones capaces de manejar esta situación no aparecen de la nada, son resultado de un sistema en que la educación -desde la escuela hasta la empresa- favorece el pensamiento independiente, la imaginación y la inventiva sobre la rigidez de la memorización, o la repetición de los caminos existentes. Concebimos aquí la educación como “el medio del pleno empleo de todos los recursos humanos latentes” (Perroux citado por Correa, 2000, p. 1097), un proceso que no concluye con los estudios formales sino que prepara a personas, organizaciones y naciones para seguir aprendiendo de forma continua:

“El aprendizaje efectivo a lo largo de toda la vida viene con la capacidad de participar en actividades donde se comparten, intercambian y crean conocimientos tácitos y explícitos. Podemos denominar a estas situaciones “espacios interactivos de aprendizaje” donde diferentes actores fortalecen sus capacidades de aprendizaje mientras interactúan en busca de resolver un problema dado. (...) Las sociedades de aprendizaje se pueden definir como lugares donde una gran porción de la población y las organizaciones sociales y económicas de forma permanente llevan a cabo actividades que demandan conocimientos, donde muchos actores necesitan y son capaces de mejorar sistemáticamente sus habilidades individuales y colectivas a la par de su conciencia de los avances de la CyT.” (Arocena y Sutz, 2003, pp. 176-177)

La trayectoria de sendero define la capacidad de aprendizaje de una sociedad y con ella sus condiciones creativas para inventar el camino de su vida futura. La educación continua puede presentarse en muchos ámbitos -desde el arte hasta el esparcimiento- pero el carácter acumulativo por naturaleza de la CyT las hace mucho más atractivas y útiles en la civilización industrial, razón por la que estos aspectos ocupan un lugar privilegiado en la sociedad moderna (Furtado, 1978, p. 22). La creatividad así alcanza una fabulosa expansión para dar origen a una civilización

en la que las personas están expuestas en su vida a un mayor número de innovaciones que todas las conocidas por la humanidad a lo largo de su historia (Íbid). Vivimos en una sociedad que se caracteriza porque la única constante es el cambio.

### **Revoluciones científicas y revoluciones tecnológicas**

La construcción social de la CyT no debe darnos a entender que se trata de una estructura completamente arbitraria, sujeta solo a los intereses de quienes logran imponerse sobre los demás. En un momento específico la ruta viable para las innovaciones debe ajustarse al horizonte de lo posible a partir de los paradigmas científicos.

Los paradigmas son modelos ampliamente reconocidos y aceptados como válidos por los expertos de una comunidad científica (Kuhn, 1971). Son la base para la práctica científica normal pues determinan la forma en que los especialistas de un área entienden y abordan los fenómenos que estudian, pero no son inmutables y se encuentran en un proceso de revisión permanente. Cuando aparecen resultados que no pueden explicarse con los paradigmas vigentes se entra en un periodo de crisis: surgen propuestas que compiten para demostrar su capacidad explicativa-predictiva y establecerse como nuevos paradigmas. Las revoluciones científicas son procesos de cambio de paradigma, episodios “destructores-de-la-tradición” que hacen “que los científicos vean de un modo distinto el mundo al que se aplica su investigación.” (Kuhn, 1971, p. 212)

Ya hemos hablado del alto grado de integración entre ciencia y tecnología, pero debemos aclarar que en cuanto a revoluciones se refiere no existe una correspondencia directa: no toda revolución científica implica una revolución tecnológica y, al revés, pueden presentarse revoluciones tecnológicas sin necesidad de una revolución científica. El desarrollo de la mecánica clásica por Galileo e Isaac Newton -la Revolución Científica del siglo XVII- no estuvo asociado directamente a ninguna revolución tecnológica, y lo mismo ocurre con la célebre Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein; en contraparte, la Revolución Industrial apareció sin que hubiera una revolución científica directamente ligada a ella. Pero también hay casos de relación más directa: la teoría electromagnética –cristalizada por Michael Faraday y James Clerk Maxwell- fue base para comprender los procesos de generación de electricidad que formaron parte esencial de la Segunda Revolución Industrial; y también está la mecánica cuántica, paradigma científico que sirvió de

base para el desarrollo de la industria electrónica que abrió las puertas a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's) y, en la actualidad, a las nanotecnologías.

En todo caso el cambio tecnológico tiene una lógica diferente a la de las revoluciones científicas. Para entender esta dinámica, debemos distinguir -en términos schumpeterianos- entre la invención, como fruto del trabajo de la ciencia y tecnología, y la innovación, como una nueva combinación de factores productivos que llevan un artefacto al uso general. Hay muchos inventos que son factibles desde el punto de vista científico-tecnológico pero que no son económicamente viables o socialmente aceptables y nunca llegan a ser innovaciones con presencia en el mercado. Sin importar la eficiencia o el atractivo de los nuevos productos o servicios, su adopción no es directa ni inmediata. Las innovaciones deben pasar por un proceso de conocimiento-aceptación-adopción para poder hacerse más atractivas para los diferentes usuarios potenciales y lograr un uso amplio. En este sentido Lundvall (2007, p. 9) define la innovación como un proceso que involucra la discontinuidad en las características técnicas -o en el uso de nuevos productos o procesos- y además la introducción, difusión y adaptación del nuevo aparato. El trabajo no termina al crear un nuevo producto o servicio, hay que lograr una adopción exitosa para que este logre un impacto en la matriz institucional.

Pero aquí no debe pasar desapercibido el hecho de que un invento particular no es el único camino para resolver un problema, debe enfrentarse con otras alternativas: el paso de la invención a la innovación supone una lucha de fuerzas contrapuestas, donde a la larga una termina siendo vencedora. Así hay invenciones que son compradas (sus patentes por ejemplo) para que no se apliquen, por tanto no se conviertan en innovación. Cada vez que surge una nueva tecnología pueden identificarse sectores sociales a favor y en contra de su uso, dependiendo de sus condiciones específicas. El caso de las nanotecnologías es elocuente de esta lucha por dirimir el camino de las tecnologías emergentes.

Aquí la difusión se considera un proceso en el cual los miembros de un sistema social se comunican una innovación a través de ciertos canales a través del tiempo (Rogers, 2010, p. 5). No debemos confundir la difusión de innovaciones, que Rogers (Íbid, p. 6) presenta como una forma de cambio en la que la incorporación de nuevas combinaciones de factores productivos altera la estructura y el funcionamiento de un sistema social, con la difusión científica que implica la comunicación de avances entre especialistas de una disciplina científica (Estrada,

2002). La difusión de innovaciones puede realizarse de forma espontánea, cuando no existe una estrategia para promover la propagación de la innovación, o de forma dirigida si hay un manejo consciente de las acciones de comunicación necesarias para facilitar su adopción social (Rogers, 2010, p. 7); y si en este último caso se desea comunicar innovaciones con un fuerte componente científico y tecnológico, es necesario incorporar acciones de divulgación de la CyT para promover la comprensión social y adopción de los avances.

Aún con una estrategia de comunicación como base, la difusión de una innovación no es una certeza: su éxito depende del comportamiento del mercado en un proceso colectivo de innovación-decisión. Rogers (íbid, pp. 161-162) identifica 5 etapas que implican acciones y elecciones en las que los individuos y organizaciones evalúan los avances y deciden si incorporan o no la innovación a sus prácticas futuras.

i. Conocimiento. Es cuando los individuos (u organizaciones) son expuestos por primera vez a la existencia de una innovación, aunque no tienen información sobre ella.

ii. Persuasión. Surge el interés por la innovación, con lo que de forma activa buscan averiguar más sobre ella. Aquí los promotores del avance buscan convencer a la sociedad de sus ventajas respecto a las opciones existentes; o bien ejercen su poder para inducir el uso forzado en sectores bajo su control.

iii. Decisión. Se sopesan las ventajas y desventajas del uso de una innovación para decidir si se va a usar o a rechazar; se trata de una etapa que varía sustancialmente en cada organización, en función de sus intereses y necesidades. A pesar de esto, una innovación exitosa generalmente logra condiciones para ser aceptada en una gran diversidad de organizaciones.

iv. Implementación. Ahora se emplea la innovación de forma directa en los procesos de la organización y se determina su utilidad -y efectividad- real.

v. Confirmación. La última etapa del proceso implica corroborar el uso de la innovación, con la posibilidad de un mayor compromiso de inversión de recursos, para aprovecharla al máximo de su potencial.

Este proceso, tal como lo plantea Rogers, se centra en una visión de individuos u organizaciones independientes pero la realidad es que se encuentran íntimamente ligados a la matriz institucional y al contexto social en que ésta se ubica. Aún con las mayores bondades, la

capacidad de responder a una demanda no basta para que una innovación se adopte exitosamente; cuando las actividades que pueden verse desplazadas afectan a organizaciones poderosas, los avances potenciales de una nueva combinación productiva pueden verse frenados. De igual forma aunque las personas y organizaciones -de forma independiente- no se inclinen hacia la adopción de un invento particular, el empuje de grandes empresas o el mismo gobierno puede inducir su adopción para convertirlo en innovación.

Dentro de las innovaciones que sí llegan a ser aceptadas no todas tienen el mismo grado de éxito e impacto en la sociedad, hay desde las que facilitan aspectos de nuestras vidas cotidianas hasta las que transforman por completo la dinámica de la sociedad y el sistema productivo. Para hacernos una idea de lo que implica una revolución tecnológica nos apoyaremos en el trabajo de Dicken (2007, p. 77) en que se presenta una caracterización con cuatro niveles de innovaciones:

1. Innovaciones incrementales. Son modificaciones progresivas, a pequeña escala, en productos y procesos existentes. Se generan a través del “aprendizaje al hacer” y “aprendizaje al usar” y pueden acumularse en largos periodos de tiempo para lograr cambios significativos.
2. Innovaciones radicales. Eventos discontinuos que cambian drásticamente los productos y procesos existentes. Una sola innovación radical, por si misma, no tiene un amplio efecto en el sistema económico; para conseguirlo se requiere un cúmulo de estas innovaciones.
3. Cambios de sistema tecnológico. Cambios extensivos de tecnología que inciden en un gran número de segmentos de la economía y crean otros nuevos. Implican combinar innovaciones radicales e incrementales, a la par de las innovaciones organizacionales correspondientes. Normalmente los cambios de sistema tecnológico vienen asociados a la aparición de tecnologías genéricas clave, Tecnologías de Utilidad General.
4. Cambios de paradigma tecnoeconómico. Cambios revolucionarios de gran escala, materializados en nuevos sistemas tecnológicos. Estos “tienen efectos tan penetrantes en la economía en su conjunto que cambian el “estilo” de producción y gerencia en todo el sistema.” (Freeman, citado por Dicken, 2007, p. 77) Este cuarto tipo de cambio tecnológico implica la aparición de una nueva gama de productos, servicios, sistemas e industrias y afecta indirectamente casi todos los segmentos de la economía.

Un cambio de paradigma tecnoeconómico implica una revolución tecnológica. Y parafraseando a Landes (2003, p. 114), no solo de máquinas y nuevas técnicas se hace una revolución: es necesario

transformar la organización y los medios de producción. El paradigma tecnoeconómico dominante se construye a través de un proceso complejo de aprendizaje colectivo que tiene como eje las prácticas económicas, tecnológicas y organizacionales óptimas para un periodo específico. “Es un "paradigma" en el sentido kuhniano, porque define el modelo y el terreno de las prácticas innovadoras "normales", prometiendo éxito a quienes sigan los principios encarnados en las industrias-núcleo de la revolución.” (Pérez, 2005, p. 32) Una revolución científica limita su impacto -como cambio de visión del Universo- a la comunidad científica especializada ligada al cambio de paradigma, pero un cambio de paradigma tecnoeconómico transforma profundamente la economía y la sociedad en su conjunto. Se trata, por tanto, de un concepto ex post; solo puede identificarse esta forma de cambio una vez que ha producido una transformación radical. Mientras no se transforme la forma de vida, de trabajo y producción en una sociedad no es posible hablar de un cambio de paradigma. Sin embargo, es posible establecer tendencias para detectar innovaciones radicales -como Tecnologías de Utilidad General (*General Purpose Technologies*)-, con el potencial para generar un cambio de paradigma tecnoeconómico.

### **Tecnologías de Utilidad General (TUG)**

Para los creadores del concepto (Bresnahan y Trajtenberg, 1995, pp. 84-85), las Tecnologías de Utilidad General (TUG) son innovaciones que funcionan como elementos facilitadores: más que ofrecer soluciones finales y completas, abren nuevas oportunidades para aplicaciones en sectores diversos. Cabe aclarar que la utilidad general de una tecnología se expresa para un momento histórico específico, pues depende de una serie de innovaciones complementarias para hacer posible su inserción exitosa en el mercado. Fue así que -por citar un ejemplo- la computadora mecánica diseñada por Charles Babbage en el siglo XIX no consiguió extenderse de forma amplia, mientras que sus herederas electrónicas se convirtieron en la base de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, las TUG más importantes en la segunda mitad del siglo XX; en la época de Babbage no existían ni la demanda ni la infraestructura para permitir que su invento se convirtiera en una innovación exitosa.

Las mejoras necesarias para el avance de una TUG y las innovaciones que de ella se desprenden no son fortuitas, requieren de grandes inversiones en procesos de I+D. Para conseguir este compromiso económico

es preciso que los científicos, tecnólogos, gobernantes y empresarios sientan que están apostando por la opción adecuada. Así, como afirman Youtie y colaboradores (2008, p. 322), en un momento dado los actores y las organizaciones deben decidir si dedican sus recursos al desarrollo de tecnologías complementarias para una TUG establecida o para una nueva. Bresnahan y Trajtenberg (1995, pp. 94-95) indican que para que una GPT alcance su potencial es necesario combinar sus ventajas puramente técnicas con la construcción de un consenso entre diferentes sectores; es preciso convencer a las organizaciones de las ventajas que les ofrece una TUG para facilitar las condiciones para su adopción. Esto implica que personas que no son especialistas en los temas técnicos asociados a una TUG comprendan sus fundamentos y la forma en que es superior a otras opciones, es decir, para construir el consenso son necesarias estrategias de divulgación científico-tecnológica.

Frente al reto de tomar una decisión de este tamaño, surge la duda de cómo distinguir entre una TUG y otras tecnologías de menos importancia. Jovanovic y Rousseau (2005, p. 1185) establecen tres características esenciales:

- i) penetración, la TUG debe propagarse en un gran número de sectores de la economía;
- ii) mejoramiento, la TUG debe avanzar con el tiempo y, como consecuencia, debe mostrar una reducción dramática y progresiva en los costos para los usuarios; y
- iii) generación de innovaciones, la TUG facilita la creación de nuevos productos y procesos.

La clave de la aplicación en muchos sectores se encuentra en la función genérica de la tecnología; se trata de una condición que encontramos en el movimiento rotatorio continuo de la máquina de vapor, la electricidad como forma de energía aplicable a todo tipo de aparatos o la lógica binaria de los transistores en el circuito integrado. Aun así, existen grandes retos para lograr el avance en el desempeño y viabilidad económica de las TUG (Bresnahan y Trajtenberg, 1995, pp. 86). El uso más barato del vapor requirió mejores motores con materiales mejorados y una comprensión más profunda de la eficiencia térmica; el uso amplio de la electricidad llegó con la corriente alterna para su distribución a gran escala, así como generadores más eficientes; la mejora de los circuitos integrados ha demandado avances en fotolitografía y miniaturización, entre otros procesos. Para aplicar la función general en una situación específica se requieren innovaciones complementarias (Ibíd); así como una TUG extiende la frontera de lo posible para amplios

sectores de la economía, las innovaciones específicas cambian la forma de producción en cada sector (Teichert, 2012, p. 48). El efecto de estos complementos magnifica los efectos de la TUG y le ayuda a propagarse por la economía.

Los efectos dinámicos de una TUG no se manifiestan con rapidez, por el contrario, toma un periodo considerable de tiempo para aprovecharlos. Petsas (2003, p. 578) aclara que el proceso de adopción por parte de sectores amplios de la industria -con los consecuentes avances complementarios e impactos económicos- puede tomar varias décadas. El impacto de una tecnología emergente en la productividad con frecuencia es limitado porque los avances aún no se han desarrollado lo suficiente, las posibles aplicaciones son limitadas y los costos para el desarrollo son elevados; por eso las TUG están asociadas a un bajo incremento de productividad en sus primeras etapas (Ibíd). Hay que pasar por un periodo de adaptación para asimilar, y aprovechar al máximo, una nueva tecnología.

Aunque no toda TUG implica un cambio de paradigma tecno-económico, tales cambios han tenido como eje al menos una TUG; una innovación que choca con el ambiente establecido, con las formas habituales de hacer las cosas, y establece un nuevo orden. Esto, como señala Miguel Rivera (2009, p. 46), produce una reestructuración de toda la economía, a partir de la modernización de la infraestructura, prácticas óptimas, productos, perfiles de capacitación, patrones de localización de la producción y uso intensivo del insumo clave, es decir, a un nuevo patrón industrial. De esta manera las revoluciones tecnológicas, apoyadas en las TUG, representan un elemento central en la dinámica del sistema capitalista.

Para aprovechar al máximo el conocimiento tecnológico existente en la actualidad, las empresas y países deben ser capaces de adoptar las mejores prácticas técnicas para la producción (Cypher y Dietz, 2004, p. 381), es decir, deben apropiarse del paradigma tecnoeconómico vigente. Esto implica un compromiso con la construcción de una comunidad tecnológicamente sofisticada (Ibíd, p. 382), para contar con las habilidades humanas, la cultura y las instituciones necesarias para conseguir apropiarse del sistema tecnológico asociado a una nueva revolución tecnológica.

### **Economía del Conocimiento**

Vivimos en una sociedad caracterizada por el carácter estratégico del conocimiento -en especial aquel vinculado a la CyT- como parte de una dinámica de fuerte impulso al cambio. La Organización para la

Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) acuñó el concepto de economía del conocimiento para reconocer el papel del conocimiento y la tecnología en el crecimiento económico, al considerar que nunca antes las economías habían dependido tanto de la producción, distribución y uso del conocimiento (OECD, 1996, p. 9). Durante los últimos 15 años el concepto ha sido una gran bandera retórica de los organismos internacionales -OCDE, Banco Mundial y hasta el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo- para promover un impulso a las actividades de investigación y desarrollo (I+D) en diferentes países, impulsar la formación de recursos humanos y fortalecer los sistemas de protección intelectual.

A primera vista pareciera una estrategia loable para motivar a los países, especialmente a los periféricos, a usar la CyT como palancas de desarrollo; pero un análisis detallado permite identificar un claro sesgo a favor de las demandas del mercado sobre las necesidades sociales:

“Gran parte de la investigación básica sigue siendo financiada con fondos públicos y se conceden licencias al sector privado. Pero en el sector privado es donde suelen desarrollarse las aplicaciones tecnológicas en respuesta a la demanda del mercado. Se requieren nuevos incentivos para estimular la investigación y el desarrollo industrial a fin de satisfacer las necesidades tecnológicas de los países en desarrollo, no simplemente las demandas del mercado mundial.” (PNUD, 2001, p. 100)

Debemos dejar de lado la idea de una economía del conocimiento como un proceso benéfico, homogéneo y global, idéntico para todas las sociedades (Rivoir, 2009, p. 36); por el contrario, se deben reconocer asimetrías, inequidades y efectos negativos de las nuevas formas de producción (Bianchi, 2009, p. 51). Los países centrales y las grandes empresas cuentan con inversiones para sacar provecho al conocimiento; hay países emergentes -como China, Corea del Sur y La India- que empiezan a construir y fortalecer capacidades al respecto, mientras que los países periféricos se encuentran en una situación de rezago y dependencia, con limitados esfuerzos de I+D que en muchos casos no responden a necesidades sociales.

La agresiva estrategia de promoción manifiesta que, como señala León Olivé (2007, p. 47), en sentido estricto aún no existe una sociedad y economía del conocimiento, sino que el concepto se refiere a un posible modelo de sociedad en construcción; un modelo que cuenta con la fuerte promoción de los organismos internacionales. Es un proceso de transformación social en el que se observan tres elementos distintivos (Bianchi, 2009, p. 40): i) un incremento exponencial de los flujos de información en diferentes ámbitos de las relaciones sociales; ii) una aceleración en la velocidad de obsolescencia de los conocimientos científico-

técnicos y productivos; iii) un creciente grado de la valorización de los conocimientos formales para participar en las actividades de producción y reproducción económica y cultural de la vida humana.

Pero la trascendencia del conocimiento en la economía no es cosa nueva, el conocimiento -como capacidad de innovar- siempre se ha encontrado en el corazón del desarrollo (Foray, 2004, p. 21). ¿Cuál es entonces la verdadera clave de este nuevo concepto? Miguel Rivera nos ofrece un panorama general:

“La economía del conocimiento se sustenta en un tipo de tecnología que revoluciona la capacidad para procesar la información, pero su racionalidad económica conduce a un nuevo modelo organizativo. El informacionalismo representa, en consecuencia, ese nuevo modelo organizativo adoptado para extraer rentas económicas de las nuevas posibilidades en el manejo de la información. Lo anterior supone, naturalmente, una conversión masiva de conocimiento a información y el uso de ésta como insumo productivo gracias a lo cual se incrementa explosivamente el valor de uso de los bienes (mayor calidad, variedad y sucesión acelerada de modelos) y, por ende, su valor. De lo anterior se desprende que el informacionalismo es un proceso acotado por las relaciones de propiedad capitalista y estructurado a partir de elementos tecnológicos y de transformaciones en los derechos de propiedad. Consiste en el uso capitalista del conocimiento a partir del procesamiento de la información como principal fuente del incremento de la productividad.” (Rivera, 2009, p. 52)

La novedad radica en la posibilidad de digitalizar, homogeneizar y separar el conocimiento de los procesos que lo aplican directamente; así como en una mayor fuerza en las barreras regulatorias que hacen posible el monopolio de los avances. De esta forma se busca la apropiación de ganancias extraordinarias a partir de las rentas tecnológicas, con lo que —especialmente en el sector intensivo en conocimientos- las patentes de productos, procesos e innovaciones tecnológicas se convierten en los activos más importantes de la propiedad capitalista (Dabat, 2009a, p. 66).

Pero existen posturas escépticas sobre la existencia de una economía del conocimiento. Robert Gordon (2000) cuestionó seriamente si la “Nueva Economía” merece el trato de una nueva revolución industrial, en especial en base a que el incremento de la productividad en los albores del nuevo milenio estaba focalizado en la producción de electrónicos, computadoras, periféricos y equipo de telecomunicaciones. Fuera del 12% de la economía involucrada en la producción de bienes duraderos, los efectos del aumento de productividad eran sorprendentemente nulos y el aumento de inversión notablemente improductivo (Gordon, 2000, p. 4). Sin embargo, en la década de 1990 las exportaciones de productos electrónicos mostraron tasas anuales de crecimiento de 11%, altas comparado al 6% de incremento del resto de las exportaciones mundiales (Dabat,

2009b, p. 19-20), se trató de un sector que -junto a la industria del software- sirvió como punta de lanza para establecer el nuevo paradigma tecnoeconómico. Si bien esto no resuelve la polémica sobre las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) como una nueva revolución industrial, las ubica como una TUG con un creciente impacto socio-económico.

Aquí debemos acudir a los conceptos de trayectorias tecnológicas y organizacionales, así como al ajuste progresivo de capacidades económicas que requiere una TUG; se lleva algún tiempo antes de cosechar los frutos del nuevo paradigma tecnoeconómico (Foray, 2004, p. 33). El efecto de este cambio en la economía no es inmediato, el nuevo régimen -como proceso de destrucción creativa- implica reemplazar prácticas, equipo y competencias en los recursos humanos; en un periodo de ajuste necesario para la instauración del nuevo orden. Y todo esto implica un letargo en los diferentes sectores que se están adaptando.

Sin embargo, con el paso del tiempo, los sectores que representan la base material de la economía del conocimiento han mostrado un dinamismo que les permite generar importantes enlaces productivos. Como señala Dabat (2009b, p. 17-19) actualmente el sector electrónico-informático (SE-I), un complejo productivo de bienes tangibles (semiconductores, computadoras, equipo de comunicaciones e industrial), intangibles (software, diseños) y servicios básicos y de apoyo (telecomunicaciones), tiene eslabonamientos hacia adelante en el nivel de procesos productivos (equipo usado en la producción o en actividades de investigación) y productos (componentes electrónicos en toda clase de bienes duraderos, equipos y estructura), así como en el nivel de administración y comercialización de las actividades (control de inventarios, comercio electrónico, entre otros); y hacia atrás el sector se eslabona con sectores afines como el eléctrico, la industria óptica y el sector científico-educativo que le sirve como base epistémica y con el cual forma la base de la economía del conocimiento.

El conocimiento científico-tecnológico es un bien intangible pero esto no significa que aparezca de la nada; resulta de un proceso de producción social a través de lo que Marx (1972, p. 115) definió como trabajo general: “todo trabajo científico, todo conocimiento, todo invento. Depende, en parte, de la cooperación con otras personas vivas, en parte del aprovechamiento del trabajo de agentes anteriores.” Desde esta perspectiva se justifica el trabajo de la CyT como fuente de valor y, para aprovecharlo, se requiere de un compromiso con la formación de recursos humanos, infraestructura, actividades de I+D, así como procesos de comunicación de resultados:

"El conocimiento tiene un costo, y no es barato. Si se tiene en cuenta que en muchos países desarrollados el sistema educacional absorbe aproximadamente el 10% del Producto Bruto Interno (PBI), que las empresas gastan otro 5% del PBI en capacitación, y que otro 3-5% se emplea en Investigación-Desarrollo, se concluye que las economías más avanzadas invierten hoy la quinta parte de su PBI en producir y diseminar conocimiento, lo cual es más que lo que esas mismas economías invierten en la formación de capital tradicional." (Toffler, 1990).

Una vez que el conocimiento asume un papel cada vez más protagónico, se manifiesta la contradicción latente entre el capitalismo, cuya base es la propiedad privada, y la ciencia académica que se construyó a partir del acceso común (Merton, 1968). En "La estructura de las revoluciones científicas", Thomas Kuhn llamaba a "reconocer que la herencia común de la humanidad no son solo el cielo y los océanos, sino el avance tecnológico mismo" (Kuhn, 1971). Actualmente presenciamos el proceso de privatización del conocimiento, como reacción del sistema capitalista a sus nuevas funciones de recurso limitante en la economía (Lage, 2006, p. 136).

"La contradicción en que se desenvuelve el capitalismo informático es que si la valoración se sustenta en una transformación creciente del conocimiento en información, esa misma transformación lo acerca a la condición de bien público, que corroe la apropiación privada. (...) la respuesta radicaría en la imposición de estrictos derechos de propiedad que restrinjan la difusión de la información y eleven los costos de acceso." (Rivera, 2009, p. 52)

La estrategia de los organismos internacionales, en este sentido, ha sido fortalecer los marcos regulatorios detrás del sistema de patentes; promover la privatización del conocimiento. Lage se apoya en Marx para hacer un símil entre la expropiación de la tierra de labranza en la Inglaterra del siglo XVIII y los acuerdos de propiedad intelectual (*Trade-Related Intellectual Property*) promovidos por la Organización Mundial de Comercio (OMC) para generar una especie de "Ley de Cercado de los Conocimientos", que conduce a una acumulación originaria del conocimiento científico-tecnológico (Lage, 2006, p. 40). Y no solo se privatizan los conocimientos producidos por la empresa, se trata de "la apropiación gratuita del conocimiento y la destreza social acumulados, de la fuerza productiva generada por el intelecto colectivo." (Gilly y Roux, 2008, p. 45) Es decir, las empresas reciben conocimientos de forma gratuita, gracias a la labor de investigadores presentes y pasados, que son las bases para avances que resultan en propiedad privada.

Las patentes como derechos monopólicos de comercialización que otorga el Estado al autor de una invención (Lage, 2006, p. 138) son la vía legal de exclusión de los otros productores e investigadores

(Aboites, 2009, p. 262) por un determinado periodo de tiempo. Aunque la protección para el trabajo de innovación parece justa, conforme aumentó la importancia económica de las innovaciones se incrementó la cantidad de patentes depositadas y la competencia llevó a un depósito precoz de patentes. Esto ayudó a construir una dinámica disfuncional para la empresa científica, pues el 97% de las patentes nunca llegan a generar ganancias (Key, 2013) pero si se convierten en un obstáculo al establecer derechos para excluir a alguien de ese conocimiento o demandarle un pago para poder aprovecharlo (Lage, 2006, p. 139).

Y además, en cuanto a la divulgación de la CyT y su relevancia para las estrategias de desarrollo, el frenesí por patentar nuevos avances detiene la comunicación de sus elementos; complicando así que puedan actuar en consecuencia, ya sea para aprovecharlos o protegerse de ellos. Lejos de un verdadero proyecto de desarrollo fincado en el aporte de la CyT, “buena parte del desarrollo científico y tecnológico se ha convertido en rehén de quienes toman las decisiones económicas y políticas sobre el rumbo de las naciones, los que conforman un selecto y poderoso grupo al que poco importa el bienestar de la humanidad en su conjunto.” (Bermúdez Garza, 2000, pp. 22-23)

Pero aún existen esfuerzos de CyT independiente de los intereses del capital, como señala Javier Echeverría (2003): "la ciencia académica sigue existiendo". Para mantenerla vigente y con pertinencia social se deben orientar las estrategias nacionales de ciencia, tecnología e innovación hacia la sociedad, pero tal cosa no ocurrirá de forma espontánea sino que requiere de la acción estratégica de organizaciones comprometidas con un proyecto de desarrollo basado en la CyT.

### **2.3 Ciencia, tecnología y sociedad**

La capacidad para aprovechar las actividades de ciencia, tecnología e innovación de un país con miras al desarrollo no puede abordarse de forma absoluta ni aislada: en cada caso la matriz institucional marca importantes divergencias a partir de factores como la formación de recursos humanos capacitados, la relación con organizaciones (empresariales y académicas) proveedoras de los insumos necesarios, la demanda (económica y social) para los nuevos aparatos y la trayectoria historia que condujo a las condiciones que prevalecen en un momento específico.

La innovación se ubica como un proceso social, creativo, interactivo, acumulativo y dependiente del sendero (Arocena y Sutz, 2002, p. 4; Lundvall, 2007, p. 9) con una fuerte base científico-tecnológica que va íntimamente ligada a la realidad socio-económica. El agente innovador identifica un aspecto en que el mundo puede organizarse de forma diferente (Metcalf y Ramlogan, 2008, p. 439) con la solución de un problema latente o bien con una nueva actividad capaz de desplazar una constelación de actividades.

Ninguna innovación es neutra, todas implican beneficios para algunos sectores y aspectos negativos para otros (por ejemplo, las organizaciones con interés en productos que pueden verse desplazados por los nuevos avances). Para empresas viejas, y bien conectadas, la destrucción creativa no es una cosa bienvenida; política y socialmente no es fácil de manejar (Nelson, citado por Albuquerque, 2007, p. 677). Esto añade a la incertidumbre del proceso de innovación, al incorporar la resistencia de quienes prefieren mantener las condiciones socio-económicas vigentes; son respuestas políticas que se agregan a las condiciones sociales y económicas de una innovación (Metcalf y Ramlogan, 2008, p. 439). Volvemos entonces al panorama social de la innovación, a la importancia de la matriz institucional en la que se encuentra inmersa.

Rosenberg (1982, p. 35) usa el trabajo de Marx para señalar que un estudio completo de la innovación requiere abordarla como un proceso social. El enfoque de la discusión marxista sobre cambio tecnológico se basa en los procesos colectivos dominados por los ambientes institucionales y económicos (íbid), es decir, la matriz institucional en que se desenvuelve la acción de las organizaciones relacionadas con la innovación. En congruencia con esta visión consideramos esencial abordar la innovación, y su trascendencia para el desarrollo, desde una perspectiva social que contemple su complejidad.

Para iniciar nos apoyamos en el aporte de Cypher y Dietz (2004, p. 380) al referirse a la *innovación nacional* como la introducción de tecnología al proceso productivo local de un país; un proceso que requiere una estructura científico-tecnológica nacional competente para primero entender, adoptar y adaptar conocimientos tecnológicos nuevos -con frecuencia extranjeros- para las necesidades específicas de su sociedad; y en segundo lugar -en los países que logren un mayor avance- se podría pasar a un estado de creación de progreso tecnológico propio capaz de aportar a la capacidad tecnológica internacional y mejorar las condiciones de vida de su sociedad. Un elemento clave radica en encontrar un equilibrio óptimo entre el uso del acervo disponible a nivel internacional y la inversión en esfuerzos locales/nacionales de innovación. Así, a partir del trabajo de Sábato y MacKenzie (1982, p. 218) concebimos la *capacidad científico-tecnológica autónoma* (CCTA) como las condiciones de un país para definir, establecer y controlar la mezcla de CyT (entre aportes nacionales e importados) más adecuadas para satisfacer sus necesidades.

La construcción de la CCTA no puede darse de forma aislada; tal como vimos que el desarrollo está íntimamente relacionado con la matriz institucional de un país, el avance de la CCTA implica un sistema de múltiples organizaciones, la forma en que se relacionan y las retroalimentaciones que construyen.

A lo largo de los últimos 50 años se han construido una serie de modelos que abordan el entramado de relaciones entre las organizaciones que construyen las capacidades científico-tecnológicas de un país. El primer modelo en aparecer, en 1968, fue el Triángulo de Sábato que tuvo una gran influencia en el pensamiento latinoamericano de ciencia, tecnología y sociedad; aunque no encontró mucho eco en la escena internacional. La segunda perspectiva se construyó a partir de la década de 1980 y se estableció como la visión dominante para el estudio de los procesos de construcción de capacidad productiva, relacionada con las aptitudes científico-tecnológicas: los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI). Los dos modelos coinciden al identificar tres categorías de actores heterogéneos –gobierno, empresas y actores científico-tecnológicos- pero omiten la participación de organizaciones sociales, aspecto que más adelante fue criticado en otros enfoques. A continuación construiremos un panorama general de los aportes de estos modelos.

### **Triángulo de Sábato**

El primer modelo que intentó realizar un abordaje integral de este tipo de sistemas fue el Triángulo de Sábato, elaborado por Sábato y Botana (1968): se propuso analizar la capacidad de

innovación de un país a través del estudio de las relaciones e interacciones entre tres grupos de agentes colectivos (o puesto en términos institucionales, organizaciones) -Gobierno, Estructura Productiva e Infraestructura Científico-Tecnológica. Cabe destacar que no se trata de organizaciones monolíticas, con todas las empresas contempladas juntas como si fueran una sola entidad o todos los niveles de gobierno agrupados de igual manera, sino que son grupos heterogéneos en que cada caso particular actúa en función por sus propias condiciones e intereses. En la medida que las capacidades y necesidades de las diferentes organizaciones se pueden complementar y articular unas con otras, es posible establecer el camino a un desarrollo apoyado en la CyT. Para esto los autores le asignaron un rol fundamental al gobierno como impulsor del Triángulo, apoyando a los demás agentes para favorecer su avance y vinculación.

Se trata de un modelo eminentemente normativo, pues describe el comportamiento ideal para las organizaciones que componen cada vértice y para las relaciones que deben establecer con los actores que conforman los otros vértices. En el vértice superior, cima del triángulo, se ubicó el Estado; cuya acción deliberada debería formular políticas y movilizar recursos de y hacia los otros vértices (Sábato y Botana, 1968, pp. 5-6). El Estado sería proveedor de recursos para hacer viables las actividades de I+D y además habría de estimular el aprovechamiento del potencial de la CyT para la innovación en la infraestructura productiva. Así, se concebía el rol del Estado como un accionar deliberado de fomento del saber científico y tecnológico en las relaciones productivas (Bianchi, 2009, p. 54).

La estructura productiva representa el conjunto de empresas que proveen los bienes y servicios necesarios para una sociedad. Dentro del Triángulo la estructura productiva debería ser capaz de emprender acciones para llevar a cabo innovaciones, es decir, estar compuesta por empresarios emprendedores en el sentido planteado por Schumpeter (1939, p. 100) con la capacidad para transformar o revolucionar el sistema de producción (Bianchi, 2009, p. 55). La infraestructura científico-tecnológica sería representada por investigadores -como individuos, centros o redes- con capacidad creadora en su labor científica para encontrar alternativas de solución a los problemas productivos y sociales del país.

La esencia del Triángulo de Sábato se encuentra en una visión que trasciende el análisis de organizaciones aisladas para centrarse en el entramado de relaciones que construyen para incorporar, generar y transformar demandas en innovaciones científico-tecnológicas (Bianchi, 2009, p. 55). Cada vértice representa puntos de convergencia de múltiples organizaciones, unidades de decisión y producción, entre

otras; no se trata de grupos de actores monolíticos u homogéneos, sino de grupos diversos con posturas tan variadas como sus intereses y que pueden entrar en conflicto. Además las relaciones del triángulo tienen múltiples dimensiones: hay relaciones dentro de cada vértice (intra-relaciones), relaciones entre vértices (inter-relaciones) y relaciones entre el triángulo constituido con el entorno externo del territorio en que se sitúa (extra-relaciones). Si una sociedad logra que funcione su Triángulo de relaciones, las aperturas hacia el exterior -sean para exportar o importar tecnología- producen beneficios reales pues se dispone de una capacidad de creación y respuesta frente a otros triángulos de relaciones externos.

Hay una fuerte relación entre la visión del entramado de relaciones del Triángulo de Sabato y la CCTA, sin embargo su abordaje analítico se redujo en gran medida al trabajo académico en América Latina y ha tenido un avance limitado desde la década de 1980. Se puede entender su poco progreso por la importancia que le asignó a la acción del Estado en un momento en que las políticas neoliberales -promovidas por organismos internacionales como el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, a la par del impulso de las élites nacionales agro-mineras/exportadoras-rentistas tradicionales- apuntaban a minimizar la participación del gobierno.

Un abordaje semejante pero distinto que ha logrado mayor profundidad y riqueza en el estudio de las relaciones entre organizaciones en el marco de CyT y desarrollo, se ha elaborado a partir de los Sistemas Nacionales de Innovación; un modelo con mayor eco en las políticas de los organismos internacionales y, paralelamente, una mayor vigencia académica.

### **Sistemas Nacionales de Innovación (SNI)**

El modelo de los SNI fue desarrollado a inicios de la década de 1980 como resultado de la colaboración de Christopher Freeman y Bengt-Åke Lundvall. Tuvieron como base el concepto de sistemas nacionales de producción, planteado originalmente por Friedrich List, en que se reconocía la trascendencia de un amplio rango de instituciones: desde aquellas dedicadas a la educación y la capacitación, hasta aspectos de infraestructura como las redes de transporte de personas y mercancías. La primera referencia documental sobre los SNI la realizó Freeman en 1982 en el trabajo “*Technological Infrastructure and International Competitiveness*”, y a este trabajo siguieron múltiples aportes

del propio Freeman y de Lundvall durante los siguientes 15 años para sentar las bases de los SNI como un modelo analítico propiamente dicho.

Lundvall (1992) define los SNI como un conjunto de elementos que se relacionan y se retroalimentan positivamente en la creación, difusión y empleo de nuevos conocimientos con una utilidad económica. La clave está en que los flujos de tecnología, conocimientos e información entre personas, empresas y organizaciones son centrales para el proceso de innovación: al entender los vínculos entre las organizaciones involucradas en la innovación es posible mejorar el desempeño tecnológico de un país. En términos generales, y de forma muy semejante al Triángulo de Sábato, la visión ortodoxa de los SNI reconoce tres tipos de organizaciones: empresas privadas, entidades gubernamentales y centros de investigación (sean universidades, centros estatales o privados). Una gran diferencia con el trabajo de Sábato y Botana, es que el SNI plantea un sistema de relaciones más horizontal aunque con cierto énfasis en las empresas como eje del proceso de innovación.

El principal aporte de los Sistemas Nacionales de Innovación ha sido el paso de una perspectiva lineal a otra interactiva de la innovación, estableciendo un enfoque centrado en los agentes (organizaciones) con atención a las relaciones usuario-productor (Arocena y Sutz, 2002, p. 5). Ya no se contempla una dependencia total de los avances y la creatividad de la CyT, sino que la interacción entre necesidades y capacidades de las diferentes organizaciones moldea la evolución del sistema.

“Esta transición de un sistema de ciencia y tecnología impulsado por la oferta a una red interactiva con los productores se ha denominado “sistema nacional de innovación” (SNI) y definido como la red de instituciones de los sectores público y privado cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías” (Freeman, 1995).

De esta forma se establece un movimiento de la “Política Científica” y la “Política tecnológica” a la “Política de Innovación” (Lundvall, 2007, p. 7) que refleja la idea más avanzada de buscar nuevas combinaciones productivas para enfrentar los problemas socio-económicos. La amplia difusión de este modelo se debe a que ha sido promovido por organismos internacionales -como la OCDE, el Banco Mundial, la Unión Europea y la Organización de las Naciones Unidas para el Comercio y el Desarrollo- que lo han tomado como una guía para las políticas de innovación que recomiendan a los diferentes países.

La idea de un enfoque nacional para los SNI se apoya en el hecho que muchos elementos que influyen en la innovación -como instituciones, cultura, lenguaje, normas, política tecnológica y

educación- tienen un carácter nacional (Lundvall citado por Metcalfe y Ramlogan, 2008, p. 436). Por tanto, las características de los mecanismos de absorción y difusión de conocimientos específicos de las instituciones de un país, en un momento específico, son tan relevantes como la producción y aplicación de avances en la CyT (Cypher y Pérez, 2013, p. 120).

Uno de los aspectos más interesantes de los SNI es que su abordaje no se limita a la suma de las organizaciones relacionadas con la innovación de un país, sino que le asignan una gran importancia a las relaciones y conexiones que establecen unas entidades con otras.

“Ya que los sistemas requieren tanto conexiones como componentes, la formación de las conexiones es un paso necesario en la creación de cualquier sistema de innovación. Los sistemas de innovación no aparecen naturalmente, se organizan a sí mismos para producir nuevos conocimientos y los recursos para explotar tales conocimientos; y el modelo alrededor del que se auto-organizan es (...) la secuencia de problemas que define una oportunidad de innovación. Por tanto los sistemas de innovación (...) cambiarán en su contenido y patrón de conexión conforme evolucione la secuencia de problemas, y se construyen en las escala micro y meso. En estas redes las firmas, las únicas organizaciones que combinan los múltiples tipos de conocimiento para un efecto innovador, juegan un papel clave en el proceso de auto-organización.” (Metcalfe y Ramlogan, 2008, pp. 441-442)

La esencia de este punto es que los SNI no necesariamente responden a los problemas que dan forma al crecimiento de la CyT (Íbid, p. 442) sino que se construyen alrededor de las necesidades socio-económicas. Cada contexto cuenta con diferentes oportunidades para que empresas innovadoras se embarquen en nuevas actividades que respondan a los problemas locales. En este sentido vemos que las conexiones de los sistemas de innovación guardan una gran semejanza con el concepto de enlaces planteado por Hirshman: “Existe un enlace siempre que una actividad origina presiones económicas o de otra clase que conducen a la realización de una actividad nueva.” (Hirschman, citado por Arocena y Sutz, 2002, p. 15)

Esto incluye los enlaces de consumo, que se refieren a los estímulos para la producción local de bienes para venta directa en el mercado interno (Hirschman, 1993, p. 238), pero va mucho más allá: contempla las necesidades de diferentes sectores industriales, los cuales demandan insumos específicos para sus procesos productivos, y también el empuje (enlace hacia adelante) de una

innovación que, como insumo novedoso, facilita una nueva línea productiva. “Los enlaces se centran en ciertas características inherentes a las actividades productivas que ya están en proceso en cierto momento.” (Arocena y Sutz, 2002, p. 15) Así, la ruta de los SNI se construye a través de las conexiones entre organizaciones que toman en cuenta las condiciones productivas y las demandas socio-económicas vigentes para un país.

Como señalan Bertelsen y Muller (2001), los rasgos básicos del enfoque SNI surgen de un abordaje interdisciplinario que combina en una perspectiva histórica, los enfoques de estructura y agencia; o puesto en otros términos, este modelo toma en cuenta la interacción entre la matriz institucional y la forma en que la acción de las organizaciones puede cambiar las condiciones de un contexto específico. Se trataría de lo que Lundvall (2007) caracteriza como “Schumpeter Mark III”, aunque no surge del trabajo directo de Schumpeter; mientras Mark I se relaciona con los empresarios individuales y Mark II se refiere a las grandes corporaciones como impulsoras de innovación y crecimiento, la perspectiva de los SNI lleva el análisis un paso más allá al incorporar el entramado de relaciones de un amplio grupo de organizaciones que dan forma a la innovación en un país: lo que podríamos llamar una matriz institucional de innovación.

Arocena y Sutz (2002, p. 2) distinguen cuatro aportes valiosos del modelo SNI: i) ofrece una perspectiva que toma en cuenta múltiples organizaciones sociales, lo que permite superar la contraposición esquemática entre Estado y mercado; ii) destaca la importancia de una variedad de aspectos, no sólo económicos sino también políticos, institucionales y culturales; iii) lleva la atención hacia procesos concretos de interacción entre agentes y organizaciones, ofreciendo un marco general para su estudio. iv) la teoría de los SNI ilumina el estudio de los rasgos característicos de la innovación en los países subdesarrollados, contribuyendo así a revitalizar el pensamiento sobre el Desarrollo.

### **Aspectos emergentes del modelo SNI**

Aunque hasta ahora hemos señalado múltiples ventajas del modelo de Sistemas Nacionales de Innovación, es pertinente aclarar que no se trata de un abordaje completo ni perfecto; existen múltiples aspectos que han sido criticados o enriquecidos por autores como Arocena y Sutz (2002; 2003) y Olivé (2007), en especial en lo que se refiere a los procesos de innovación en la periferia. A continuación resumimos algunos de los aportes que consideramos más relevantes:

**1) Modelo ex-post.** Hasta ahora el trabajo de los SNI se ha inclinado más a estudiar y explicar casos de éxito con sistemas relativamente fuertes y diversificados, que cuentan con un importante soporte institucional y de infraestructura para las actividades de innovación (Lundvall, 2007, p. 29), como lo que ocurrió en Alemania, Japón o Corea del Sur, que a conseguir aplicar sus ideas para construir sistemas eficientes en la periferia. Se llegan a identificar los factores que detienen el avance de la innovación en un país, o bien las trayectorias históricas que condujeron a estas condiciones, pero la misma complejidad del entramado de relaciones dificulta la aplicación de políticas de innovación que requieren el respaldo de la mayoría de las organizaciones que conforman el sistema de innovación.

**2) Acción transnacional.** Ya hemos justificado el uso del contexto nacional como marco para el análisis de los sistemas de innovación, sin embargo existen situaciones que rebasan su panorama de estudio y deben ser contempladas para un abordaje más completo. Nos referimos en específico a las actividades de las corporaciones transnacionales, cuyo trabajo de innovación trasciende fronteras y tiene efectos importantes sobre las capacidades locales en CyT.

Cypher y Dietz (2004, pp. 387-388) apuntan que algunos países periféricos han intentado aprovechar un proceso de difusión de tecnología desde el centro a través del hospedaje de corporaciones transnacionales en sus economías; lo cual, en teoría, ofrecería a las diferentes organizaciones nacionales la oportunidad de acercarse a los nuevos avances, adaptarlos a sus necesidades y hasta mejorarlos para enfrentar nuevos problemas. Sin embargo en la mayoría de los casos no se alcanza ni la cultura tecnológica ni la capacidad local para aprovechar la difusión de innovaciones desde el centro, más bien se genera una situación de conformismo y dependencia. En estos casos la relación con la tecnología se reduce a un modelo de maquila, al aprovechar innovaciones externas con el uso de mano de obra barata, en que los enlaces económicos (y tecnológicos) locales son casi nulos; se trata, en realidad, de SNI truncos.

Para disminuir costos las grandes empresas cada vez recurren más a la práctica de *offshoring*, en la que establecen subsidiarias en países con costos más bajos a los de la sede de la empresa para realizar actividades de I+D a un costo menor. Mirowski (2011, p. 17) destaca que un estudio de 2003 con los 700 corporativos más importantes en I+D a nivel mundial mostró que el 28% de las inversiones en este rubro se aplican en sedes fuera del país matriz de la empresa; además de que el 69% de las empresas indicó que su proporción de *offshoring* crecería en el futuro. Se trata de una creciente tendencia a tomar en cuenta, tanto para el análisis

de las relaciones entre organizaciones como para las estrategias que busquen coordinar los esfuerzos de I+D para articular al sector productivo local con las corporaciones multinacionales en busca de un avance de los sistemas de CyT (Katz, 2004, p. 386).

**3) Tipos de organizaciones limitados.** Una contradicción latente del planteamiento de los SNI radica en que, aunque se busca una visión sistémica, en general solo se reconocen 3 grupos de organizaciones colectivas relevantes para la innovación: empresas, gobierno y universidades o centros de investigación. La visión de un sistema, como conjunto o entramado de relaciones, no tiene por qué limitarse y, por el contrario, entre más amplia será más rica en su análisis. En particular ha sido sensible la ausencia de la sociedad civil en el abordaje de los SNI:

“Entender a la innovación como un proceso social interactivo, distribuido y (deseablemente) sistémico, es introducir a la sociedad civil en el asunto. Ello no simplifica los problemas –más bien los complica– pero esboza un vínculo entre la expansión de las capacidades y las libertades desde la “agencia” múltiple de la gente, por un lado, y por otro lado el desarrollo económico, esquemáticamente entendido como crecimiento (económico) más innovación (técnico productiva).” (Arocena y Sutz, 2013, p. 31)

Para esta situación se entiende a la sociedad civil, como un conjunto de organizaciones voluntarias y autónomas, independientes del Estado (Torres, 2001, p. 4). Pero se trata de un concepto muy amplio; tal como plantea Edwards (2000), no es una entidad sino una arena -un espacio de lucha- que contiene diferentes intereses y agendas en conflicto unos con otros. Pensamos en un proceso de pugna social para construir las prioridades científico-tecnológicas con miras al desarrollo.

Existen múltiples movimientos laborales y ambientalistas, así como otras organizaciones no gubernamentales con participación relevante en los procesos de innovación; como ejemplo podemos citar la el ETC (*Erosion, Technology and Concentration*) Group, *Greenpeace*, la Unión Internacional de Sindicatos de Alimentos, Agricultura, Hoteles, Restaurantes y Tabaco (IUF), la Fundación del Software Libre y la fundación Wikimedia, por mencionar algunos. Se trata de organizaciones que han buscado enfrentar los riesgos de nuevas tecnologías de forma responsable, ofrecer a las personas involucradas más información sobre ventajas y riesgos de las innovaciones, así como promover nuevas rutas para crear, compartir y mejorar innovaciones.

Entonces, para completar una visión integral de los SNI (o lo que Olivé denomina sistemas sociales científico-tecnológicos), habría que incluir los sistemas y procesos donde se genera y

aplica el conocimiento, pero también los mecanismos que buscan que dicho conocimiento se aproveche socialmente para satisfacer las demandas de diferentes sectores por medios aceptables desde el punto de vista de quienes serán afectados (Olivé, 2007, p. 74).

**4) Innovaciones radicales.** No todas las innovaciones son iguales: existen aportes incrementales que mejoran la productividad de una industria, logran avances en el funcionamiento de productos y servicios existentes (o reducen sus costos), o crean nuevos aparatos útiles pero con alcance limitado. De forma extraordinaria aparecen casos que van más lejos, innovaciones radicales capaces de transformar por completo la forma en que se vive y se trabaja. No es tan sencillo para una sociedad, o su sistema de innovación, adaptarse a estos últimos casos:

“Cuando hablamos de grandes cúmulos de innovaciones radicales combinados con rápidos procesos de innovación incremental, los problemas de ajuste estructural y social pueden ser muy grandes. Esto es obvio si consideramos aspectos como el cambio en técnicas gerenciales y la mezcla de habilidades necesarias, pero también aplica a muchos otros tipos de cambio instrumental en estándares, patentes, nuevos servicios, nueva infraestructura, políticas gubernamentales y organizaciones públicas” (Freeman, 1995, p. 18)

Se trata de la reacción de las organizaciones que forman el SNI a las condiciones técnicas y sociales de la innovación radical en cuestión. Pero esto no debe llevarnos a una visión determinista del asunto: el mismo entramado de relaciones y la acción de los agentes moldean las nuevas tecnologías para adaptarlos a los intereses dominantes en una sociedad. Surge la duda de quiénes y cómo definen la ruta a seguir, cuál es el proceso de interacción que rige el avance de las innovaciones radicales.

“Por eso en algunas partes del mundo, sobre todo en la Unión Europea, se ha hecho énfasis en tiempos recientes en la llamada "gobernanza", incluida la gobernanza con respecto a la ciencia y la tecnología. Con este neologismo se designan los nuevos métodos de gobierno y administración pública basados en la interacción de las autoridades políticas tradicionales y de la sociedad civil: protagonistas privados, organizaciones públicas y grupos de ciudadanos, y que se basa en los principios de transparencia, responsabilidad y rendición de cuentas, participación, eficiencia y coherencia.” (Olivé, 2007, p. 140)

Si pensamos a los SNI en un contexto democrático, la participación de las diferentes organizaciones en la definición de las prioridades, la ruta y la forma de las innovaciones radicales

aparece como una necesidad para el buen funcionamiento, estabilidad y legitimidad del sistema. Esto implica dos dimensiones esenciales: en primer lugar construir las condiciones para que las personas entiendan los fundamentos, condiciones y posibilidades inherentes a un nuevo avance científico-tecnológico, como marco para una discusión informada; en segunda instancia aparecen las estrategias políticas que ciertas organizaciones emprenden para incorporar a otros a su visión, integrándolos a la ruta que desean seguir y fortaleciendo su proyecto de desarrollo. Esta dimensión política se resalta en el trabajo de Arocena y Sutz (2002, p. 6) pues, aunque no necesariamente se puede diseñar a voluntad la configuración de los SNI, la promoción de acciones para impulsar el avance sistémico de la innovación resulta de gran importancia para el desarrollo; lo cual resulta especialmente cierto en una región como América Latina donde ciencia, tecnología e innovación no ocupan una posición muy alta en la agenda política.

**5) Conflictos internos.** En su planteamiento esencial los SNI contemplan un entramado de organizaciones que se relacionan para construir la innovación en un país, contribuyendo al proceso local de desarrollo. Daría la impresión de que los sistemas siempre conducen a sinergias y avances benéficos para todos, pero las relaciones no siempre son de suma positiva: pueden existir contradicciones entre los intereses de las organizaciones involucradas.

“Los SNI no son socialmente neutros: sus configuraciones afectan de forma desigual a diferentes grupos sociales, brindando mejores oportunidades a algunos y amenazando a otros, lo que subraya que el conflicto constituye una de sus dimensiones.” (Arocena y Sutz, 2002, p. 6)

En las pugnas alrededor de la innovación la capacidad de aprendizaje representa un aspecto sustantivo: las organizaciones deben enterarse y actuar de forma oportuna para conseguir que la ruta coincida con sus intereses. El problema radica que el conocimiento sobre los avances de la CyT no es homogéneo en la sociedad, existen marcadas brechas entre los diferentes sectores y organizaciones que podrían interesarse por un avance específico. Ante el conflicto, el poder - encarnado por la concentración de recursos de conocimiento y la capacidad de innovación (Arocena y Sutz, 2003, p. 172)- permite que las organizaciones dominantes definan la ruta a seguir y resalta las asimetrías dentro de la matriz institucional y el sistema de innovación.

### **Acción y divulgación en el contexto de los SNI.**

La forma en que las personas y organizaciones entienden los avances científico-tecnológicos define su postura y, por tanto, influye en las estrategias de acción que establecerán al respecto. El panorama que la divulgación ofrece a la sociedad acerca de temas de CyT emergentes, como las nanotecnologías, resulta fundamental para la forma en que ésta reaccionará: en cuanto a apoyo para las actividades de I+D, demanda de avances que respondan a necesidades sociales, aceptación a las innovaciones introducidas en el mercado o demanda de medidas que permitan una inserción segura de los avances más recientes. La capacidad de incidir en la construcción de significados de la CyT -entendida como la forma en que diferentes personas interpretan las implicaciones de un avance específico en su realidad- resulta fundamental para el avance de un sistema científico-tecnológico emergente.

“...así como (...) la ciencia no es neutra, también debe aceptarse lo mismo para la divulgación, al margen del modelo metafórico en que se conciba. Si es retórica, entiende la comunicación como un proceso de negociación que ha de redefinir el punto de contacto entre científicos y público, puesto que ya no hay que educar a ignorantes ni traducir un discurso inteligible. Ese punto de contacto busca crear un espacio donde generar nuevos conocimientos, actitudes y necesidades que han de asentarse sobre un sistema de conocimientos y creencias ya establecido. Y para ello utiliza la difusión masiva de un tipo particular de relato social que (...) influirá de manera directa sobre la gestión de la salud, la educación, la ecología e incluso el ocio de los ciudadanos.” (Galán, 2003, pp. 146-147)

Las personas y organizaciones que no conozcan y entiendan el avance científico-tecnológico de frontera no estarán en posibilidad de actuar para influir en la ruta de una nueva TUG, solo cuando apropien el tema podrán aportar a su construcción social. En este sentido, como señala Echeverría, el bien principal asociado a la producción de conocimiento científico-tecnológico no es el conocimiento sino la capacidad de acción que lleva implícita; *“el conocimiento es un medio para la acción, no un fin en sí mismo.”* (Echeverría, 2003, p. 267) Y este medio de acción, si ha de servir como palanca para el desarrollo, debe responder a los intereses de las diferentes organizaciones para construir un proyecto de CyT coherente con la realidad local.

Como señala Sunkel (2011, p. 129): si la sociedad, y especialmente su sistema productivo, es una estructura refleja, simple copiadora e imitadora de otras sociedades, la investigación científica resulta en verdad innecesaria, es disfuncional y no tiene utilidad práctica alguna. No obstante las bien intencionadas iniciativas que se pueden emprender esporádicamente, no se logrará en esas sociedades crear las condiciones

necesarias para arraigar en la sociedad la actividad técnico-científica como un esfuerzo permanente y socialmente necesario (Íbid). La búsqueda de un camino propio con pertinencia y legitimidad social no puede presentarse en abstracto; es necesario construir una apropiación social del conocimiento científico-tecnológico para que las organizaciones entiendan las posibilidades reales de avance en temas estratégicos y se pueda establecer una demanda realista con respecto a las necesidades sociales. Sólo mediante esta participación social en el proceso de desarrollo se podrá construir una imprescindible identidad para la estrategia de desarrollo con base científico-tecnológica.

“...es importante que los miembros de diferentes sectores sociales tengan una idea clara de la estructura y del funcionamiento del sistema de ciencia y tecnología, y en particular de su posibilidad de ayudar a resolver muchos problemas (...). También debe quedar claro que dentro de los sistemas de ciencia y tecnología los sectores de educación y de comunicación son tan importantes como el componente de investigación en sentido estricto. Pero además, hoy en día son tan indispensables los mecanismos para canalizar adecuadamente las demandas sociales hacia los sectores científicos como los expertos que deben operar tales mecanismos.” (Olivé, 2007, p. 42)

De entrada esto hace imprescindible el avance de estrategias de divulgación de la CyT emergente, pero además nos lleva a preguntarnos qué tipos de divulgación se lleva a cabo, quiénes la impulsan, cuál es su postura y cómo la proyectan hacia una forma específica de participación social en la construcción de los nuevos avances. Todos estos elementos son relevantes en general, pero el presente trabajo se centrará en la discusión específica que atañe a la divulgación de nanotecnologías.

### 3. Las Nanotecnologías (NT)

A lo largo de los últimos 35 años las NT se han establecido como un sistema científico-tecnológico sobresaliente en varios niveles: por su carácter transdisciplinar, por la diversidad de avances con propiedades extraordinarias, así como el discurso revolucionario que busca apoyo y compromiso por parte de las diferentes organizaciones sociales. En el presente capítulo se realiza una caracterización de las NT a partir del contexto histórico que les dio origen, para luego abordar una definición general de qué son, cuáles son sus principales avances, los riesgos que implican, los aspectos sociales inherentes a estos desarrollos y, finalmente, los retos inherentes a su divulgación.

#### 3.1 Una pequeña historia de las Nanotecnologías

En el principio fue John Dalton (1766-1844). En sentido estricto, mucho antes, alrededor del año 400 a. de c., los griegos Leucipo y Demócrito fueron los primeros en plantear la idea de una partícula tan pequeña que no pudiera ser dividida: el átomo (del latín *atomum*, indivisible); pero en realidad su planteamiento era mucho más especulativo que científico, pues nunca señalaron las características que debía tener tal partícula ni una forma práctica de encontrarla. Aunque sus ideas sirvieron como inspiración, el concepto moderno - científico- de lo que conocemos como átomo llegó mucho después. A inicios del siglo XIX gracias al trabajo de Lavoisier (1743-1794) se había identificado a los elementos químicos como sustancias que no podían descomponerse en otras más sencillas y Proust (1754-1826) estableció que todos los compuestos tienen proporciones bien definidas de los elementos que los conforman; Dalton partió del trabajo de estos hombres y de sus propios experimentos -con monóxido de carbono y dióxido de carbono- para formular su teoría atómica: los átomos, partículas indivisibles, serían las unidades fundamentales de los elementos químicos (Flores, 1986) y cada elemento -como el hidrógeno, el carbono o el oxígeno- tendría átomos diferentes en función de su masa distintiva (Rogers, 2011, p. 5).

El modelo resultó muy interesante para los científicos de la época, sin embargo tenía dos problemas esenciales: no había evidencia explícita de la existencia de los átomos de Dalton y tampoco se ofrecía una idea del tamaño que podrían tener tales partículas (o las moléculas que formarían al combinarse en compuestos). Así, todavía a inicios del siglo XX la existencia de los átomos y las moléculas no era un hecho científicamente reconocido; se les consideraba objetos hipotéticos útiles para el trabajo estadístico de la termodinámica, realizado por Maxwell (1865) y Boltzmann (1895), pero no se había demostrado su

existencia. Aquí entró en escena Einstein (1879-1955) que en su trabajo sobre el *movimiento browniano* (Einstein, 1905) explicó la trayectoria aparentemente aleatoria de granos de polen sumergidos en agua como consecuencia de los choques de millones de moléculas. Con esto Einstein estableció las bases para demostrar la existencia de los átomos y determinar su tamaño (Haw, 2005, p. 21). El posterior trabajo experimental de Perrin (1909) confirmó las predicciones de Einstein y estableció el tamaño de las moléculas -formadas por conjuntos de átomos- en el orden de los nanómetros.

Aunque los átomos son las unidades básicas de los elementos químicos, la idea de su indivisibilidad quedó descartada también a inicios del siglo pasado con el descubrimiento de partículas subatómicas: electrones, protones y neutrones. Así, aunque el significado etimológico del término átomo quedó rebasado, el concepto se mantuvo como la nomenclatura científica para las unidades básicas de los elementos.

A partir de estos y otros avances, la primera mitad del siglo XX atestiguó el avance de una de las grandes revoluciones científicas de la historia: la física cuántica. Este paradigma científico amplió nuestro conocimiento de la estructura de la materia y nos mostró que las reglas del mundo a escala atómica son diferentes a las que encontramos a tamaños mayores. Estos fenómenos extraños, y contraintuitivos, son la base para que nuestro Universo exista tal como es y sirvieron de fundamento para el desarrollo de nuevas tecnologías como el transistor, el rayo láser, los aparatos de resonancia magnética, las celdas solares y las cámaras digitales, por mencionar algunos.

El 29 de diciembre de 1959 Richard Feynman, físico ganador del Premio Nobel y uno de los artífices del desarrollo de la física cuántica, dictó la conferencia "*There's plenty of room at the bottom*" en la que llamó la atención a la posibilidad de controlar a la materia a una escala muy pequeña (Feynman, 1960). En la historia tradicional de las NT se marca este evento como el origen, o el banderazo de salida, del campo. La plática fue en esencia "una invitación para entrar a un nuevo campo de la física" (Íbid) y, aunque Feynman nunca trabajó científicamente en este esfuerzo y la mayor influencia de sus ideas llegó de forma indirecta, se le ubica como uno de los padres fundadores de las NT.

El primer uso específico del término *nanotecnología* se atribuye a Taniguchi (1974) al referirse a tecnologías capaces de procesar materiales con acabados ultrafinos de un nanómetro<sup>3</sup> (OECD, 2010, p. 21;

---

<sup>3</sup> Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro,  $1 \times 10^{-9}$  metros, que sería el tamaño de una molécula de glucosa o 10 veces el diámetro del átomo de helio.

Eisler, 2012, p. 11). Para 1981 el alemán Gleiter, al reconocer las propiedades dependientes del tamaño en los materiales a escala nano, empezó a usar un lenguaje con prefijos “nano” y a impulsar la creación de un programa de investigación en este campo (Eisler, 2012, p. 13).

En 1979, Eric Drexler (entonces un estudiante de posgrado en el MIT) se encontró con la transcripción de la plática de Feynman y se sintió inspirado por ella para poner las ideas en acción agregándoles aportes de frontera de la época en la comprensión de la función de las proteínas. Para 1981 publicó el artículo "*Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation*" en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*; ahí planteó su visión de la fabricación molecular, al integrar ideas científicas modernas con los conceptos de Feynman, para plantear su propia visión de fabricación molecular con precisión atómica (Fanfair et al., 2007, p. 5).

Sin embargo, hasta ese momento la precisión atómica representaba una utopía pues no existían instrumentos que permitieran visualizar la materia a esa escala con la resolución necesaria<sup>4</sup>. Esto cambió a inicios de la década de 1980 con el trabajo de los laboratorios de IBM en Suiza: en 1981 Binnig y Rohrer desarrollaron el Microscopio de Efecto Túnel, primer aparato que permitió visualizar la materia a escala atómica (OECD, 2010, p. 21; Maclurcan y Radywyl, 2012, p. 7); y en 1986 el propio Binnig formó parte del equipo que creó el Microscopio de Fuerza Atómica. Ambos aparatos permiten visualizar, medir y manipular la materia a la escala de nanómetros y ya se comercializaban a finales de esa misma década. Aunque las ideas de Feynman y Drexler inspiraron a muchos investigadores, la base material que abrió la puerta a las NT fueron los “nanoscopios” de IBM.

Este avance se complementaría con nuevas técnicas fundamentales para el desarrollo de las nanotecnologías: como la simulación computacional de fenómenos cuánticos, la litografía de rayos x, y los nuevos métodos para la síntesis de materiales (Maclurcan y Radywyl, 2012, p. 7). Otras piezas importantes fueron el descubrimiento de materiales como los puntos cuánticos (en 1983), los fullerenos (en 1985) y los nanotubos de carbono (en 1991) (Íbid).

El propio Drexler dio un paso fundamental para llevar sus ideas -y con ellas un primer vistazo de las NT- a una audiencia mayor: publicó el libro de divulgación "*Engines of Creation. The coming era of*

---

<sup>4</sup> Los microscopios ópticos solo permiten producir imágenes de objetos del orden de los 200 nanómetros, mientras que los microscopios electrónicos de la época mejoraban hasta 10 veces esa resolución pero aún así no se acercaban a la capacidad necesaria.

*Nanotechnology*” (Drexler, 1987). Con este material le dio más relevancia, y atención, a la idea de ingeniería molecular; ya fuera a través de las personas que leyeron el libro directamente o de la onda de noticias en múltiples medios de Estados Unidos que se produjo a partir de la publicación del libro. Aunque las ideas de Feynman y Taniguchi son precedentes básicos, realmente estaban inactivas hasta que Drexler ofreció un nuevo panorama de las posibilidades y los riesgos de las tecnologías a escala nano (Selin, 2007, p. 201): el libro planteó el uso de biomoléculas como inspiración para crear ensambladores moleculares capaces de armar artefactos con precisión atómica; se especuló que estos hipotéticos ensambladores moleculares servirían como fábricas de cualquier cosa útil para el ser humano o, en caso de llegar a salirse de control, podrían convertirse en una plaga gris (*grey goo*) de nanopartículas autoreplicantes capaz de acabar con la civilización (Drexler, 1987). Las dos ideas resultaron sumamente provocadoras para agentes científico-tecnológicos y también para diferentes sectores del público no experto: Drexler ofreció una visión de artefactos que vendrían a revolucionar todo desde las ciencias biológicas hasta los viajes espaciales (Fanfair et al., 2007, p. 7).

La publicidad derivada del trabajo de Drexler influyó en muchos científicos de todo el mundo que empezaron a interesarse en las NT. Por ejemplo Smalley -quien después ganaría el Premio Nobel de Química y sería un importante crítico de la visión de Drexler- inicialmente se declaró “fan de Eric” (Fanfair et al., 2007, pp. 8-9) y señaló que “*Engines of Creation*” lo influyó a trabajar en NT e incluso regaló copias del libro a las autoridades de la Universidad de Rice (donde trabajaba en ese momento).

Desde la década de 1970 se hacía investigación a escala de nanómetros, con otra nomenclatura, pero el impacto del libro de Drexler hizo que a inicios los noventa empezara a tomar auge el uso de terminología “nano” para describir fenómenos a esa escala (Eisler, 2012, p. 13). El cambio de lenguaje buscó expresar el progreso tecnológico para conseguir apoyo en un momento en que la estructura de ciencia básica en Estados Unidos necesitaba recursos; esto se reforzó con el interés de los fabricantes de instrumentos por destacar su capacidad de caracterizar la materia a escala nano. Se produjo entonces una avalancha de cosas nano: revistas especializadas, departamentos de I+D en empresas y, finalmente, estrategias nacionales de gran calado (Selin, 2007, p. 206). Durante los últimos cinco años del siglo pasado, bajo el liderazgo de Roco y con la colaboración de Smalley, se realizó una intensa gestión para promover a las NT como nuevas Tecnologías de Utilidad General (TUG) con un gran potencial para reactivar la economía y resolver múltiples problemas sociales. Fue en el periodo 1998-2000 cuando se logró unir a campos fragmentados de la ciencia e ingeniería a escala nano para establecer una definición científica y una visión de 10 años para la I+D en NT (Roco,

2011, p. 427). Esta perspectiva quedó planteada en el documento *Nanotechnology Research Directions* (Roco et al., 2000) que sirvió como base para la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI) de Estados Unidos, que fue anunciada por el Presidente Bill Clinton en el año 2000.

A partir de este momento, a modo de efecto dominó, se observó un creciente compromiso de inversión pública y privada con las NT a nivel mundial. Japón, la Unión Europea y China se ubicaron justo detrás de Estados Unidos como los principales interesados en aprovechar el desarrollo de la nueva ola en CyT. Pese a la innegable importancia de la visión de Drexler, gradualmente científicos y autoridades públicas empezaron a separarse de sus ideas. Se le empezó a calificar como un “hilado de ciencia ficción” (Meyyapan citado por Selin, 2007, p. 203) y Smalley, otrora su fan, se lanzó a la empresa de desmentir muchas ideas de “*Engines of Creation*” con el apoyo de científicos que hicieron críticas públicas a Drexler en eventos académicos y medios de comunicación (Ibíd).

Drexler, con el apoyo de un importante número de seguidores, intentó hacer frente a los ataques técnicos que recibió su perspectiva; sin embargo no fue capaz de detener el giro en la visión hegemónica del nuevo campo. Aunque Drexler se puede preciar de ser el hombre que impulsó considerablemente la construcción social de las NT, a final de cuentas perdió la batalla para mantener el significado original del concepto. El proceso de negociación de diferentes agentes que lo aplicaban según sus propias necesidades (Selin, 2007, p. 210), así como el manejo de las expectativas respecto a los nuevos avances, terminó por orientar las NT a un nuevo significado. La visión original de ingeniería molecular es muy ambiciosa e implica un desarrollo al largo plazo que no tiene certeza de lograrse; mientras el trabajo con nanopartículas útiles puede ofrecer resultados más modestos pero con metas viables para cumplir al corto plazo (Ibíd, pp. 211-212). Esto no significa que la ingeniería molecular nunca llegue a convertirse en una realidad, pero actualmente está fuera de las prioridades de inversión pública y privada.

La historia de las NT tiene un fuerte componente de comunicación; fue necesaria una estrategia discursiva dirigida primero a investigadores, con Feynman, y luego a sectores del público no especializado, con Drexler y Roco, para construir una visión integradora cuya novedad no fue el trabajo técnico en sí mismo -mucho del cual se venía realizando décadas atrás- sino la capacidad de vender a los diferentes sectores el potencial de los nuevos avances. La NT son probablemente una de los primeros casos de CyT en una fase de investigación que se ven afectados por creencias populares para crear una especie de “Investigación

Científica Pop” (Mariotti et al., 2008, p. 262). De hecho se trata de una ola científico-tecnológica atípica, en tanto que gran parte de su inversión se presentó de arriba hacia abajo, de la propuesta teórica a la implementación práctica; en vez de partir de un avance concreto que se abriera paso en diferentes sectores. Precisamente este carácter distintivo nos lleva a preguntarnos qué virtud tiene la promesa de las NT que ha conseguido un entusiasmo en la inversión pública y privada a nivel mundial.

### **3.2 Las NT: ¿qué son y por qué son trascendentes?**

Lo primero que tenemos que aclarar es que las NT no representan un paradigma científico, todos sus avances se basan en paradigmas previos; su novedad radica en la capacidad tecnológica para manipular la materia con precisión atómica y molecular para aprovechar las propiedades de la materia en la escala de los nanómetros. Por otro lado, aunque con frecuencia se usa una referencia singular, la noción de una sola *nanotecnología* es engañosa pues se engloban muchos avances, con múltiples funciones en diferentes direcciones (David, 2008, p. 6). Las NT representan un concepto paraguas que agrupa un gran número de avances científico-tecnológicos desarrollados desde diferentes campos: microscopía, física cuántica, ciencia de los materiales, electrónica, química, medicina, biotecnología y farmacología, por mencionar algunos. El único elemento en común para tal diversidad de disciplinas es el tamaño; Roco, uno de los pioneros en el impulso a las NT en Estados Unidos, define a estas tecnologías como:

“la habilidad para controlar y reestructurar la materia al nivel atómico y molecular, en el rango aproximado de 1-100 nm, así como explotar propiedades y fenómenos distintos en esa escala (...). La meta es crear materiales, dispositivos y sistemas con propiedades y funciones fundamentalmente nuevas a través de la ingeniería en su pequeña estructura. Esta es la última frontera para cambiar económicamente las propiedades de los materiales y la escala de longitud más eficiente para la fabricación y para la medicina molecular.” (Roco, 2011, p. 428)

La principal característica que hace especial a la escala “nano” es que las propiedades físicas y químicas de los materiales en este tamaño son dramáticamente diferentes a las de objetos más grandes<sup>5</sup>. Esto sucede por los efectos del aumento de la superficie en proporción a la masa de los

---

<sup>5</sup> Por ejemplo, las nanopartículas de oro de 3 nanómetros de radio se derriten a una temperatura más de 300 grados menor a la temperatura en que se derrite el oro en bloque; el aluminio -que no reacciona con facilidad a escala macro- se quema de forma espontánea en tamaño nano; o bien el óxido de zinc, blanco y opaco al manejarse en

materiales (Buzea et al., 2007, p. 15) y la naturaleza mecánico-cuántica de la física en el dominio de lo ultra pequeño (Bhushan, 2012, p. 1842).

Pero los materiales a escala nano no son nuevos ni exclusivos de la manipulación humana. En el mar la brisa desprende nanopartículas de agua con sal y las exhalaciones de volcanes emiten partículas de ceniza a escala nano. En el pasado existen tres grandes ejemplos de efectos accidentales de materiales a escala nano con resultados sobresalientes: i) cuando los mayas mezclaron y cosieron el tinte natural índigo con una arcilla porosa, que tiene huecos de tamaño nano que encapsularon el color, produjeron el tinte conocido como azul maya que ha perdurado por miles de años sin perder su coloración; ii) la copa de licurgo, exhibida en el *British Museum* en Londres, está hecha con vidrio contaminado con nanopartículas de oro y plata que hacen que al ser iluminada desde atrás muestre una coloración roja mientras que si la luz procede de enfrente se vea verde; iii) el Acero de Damasco, que se hiciera célebre por las espadas del ejército de Saladino en el siglo XII, tiene propiedades sorprendentes de dureza y elasticidad que se explicaron recientemente al comprobar que en su proceso de elaboración accidentalmente se produjeron nanotubos de carbono que reforzaron su estructura.

Los promotores de las NT esperan que las propiedades novedosas de los materiales a escala nano cambiarán la forma en que vivimos mediante aplicaciones que serán más pequeñas, rápidas, fuertes, eficientes, seguras y confiables. *The Project on Emerging Nanotechnologies* (<http://www.nanotechproject.org/cpi/products/>) tiene identificados -al 18 de octubre de 2014- más de 1800 productos con NT en el mercado pero aún no se encuentran innovaciones revolucionarias, más bien se trata de avances incrementales respecto a tecnologías existentes -como procesadores para computadoras más pequeños, mejores sistemas de almacenamiento de datos, cosméticos con nuevas ventajas, etc.- y la tendencia es que se orientan más a la comodidad del consumidor que a la solución de problemas sociales. Hay una desconexión entre la retórica revolucionaria y la realidad de las NT (Corner y Pidgeon, 2012, p. 169), pero aún así -cual si se tratara del mercado de valores- los promotores de las NT han logrado vender el potencial del futuro de este sistema científico-tecnológico para involucrar a un gran número de países y corporaciones en una ola mundial de inversión.

---

tamaños tradicionales, se vuelve transparente en su forma nano.

## Las cifras de las NT

De 2000 a 2011 el sector público mundial destinó 67.5 miles de millones de dólares para apoyar investigaciones en NT (Científica, 2011) y solo Estados Unidos invirtió 19,357 millones de dólares de 2001 a 2014 (www.nano.gov). De acuerdo a la firma BCC Research (2014), el mercado mundial de los productos con nanotecnologías en 2013 estaba valuado en 22.9 miles de millones de dólares y aumentó a 24 mil millones en 2014. Con base en un crecimiento anual de 19.8% se espera que para 2019 este mercado supere los 64 mil millones de dólares (Íbid). Aunque son estimados optimistas, en todo caso las NT seguirán entre las prioridades de los países que buscan ver más allá de la crisis económica y aprovechar las tecnologías emergentes para la competitividad y el crecimiento económico de largo plazo (OECD, 2010, p. 14).

Para una caracterización general de las nanotecnologías, resulta muy útil revisar los siguientes datos:

**Tabla 3.1: Avance de las nanotecnologías en el periodo 2000-2008**

<b>Mundial</b> <i>Estados Unidos</i>	Fuerza de Trabajo	Publicaciones en SCI	Solicitudes de Patentes	Valor de Productos NT	Inversión Total en I+D	Capital de Riesgo
2000	<b>~60,000</b> 25,000	<b>18,085</b> 5,342	<b>1197</b> 405	<b>~ \$ 30 mmd</b> ~ \$ 13 mmd	<b>~\$ 1.2 mmd</b> ~ \$0.37 mmd	<b>~\$ 0.21 mmd</b> ~ \$ 0.17 mmd
2008	<b>~400,000</b> 150,000	<b>65,000</b> 15,000	<b>12,776</b> 3,729	<b>~ \$ 200 mmd</b> ~ \$ 80 mmd	<b>~\$ 15 mmd</b> ~ \$ 3.7 mmd	<b>~ \$ 1.4 mmd</b> ~ \$ 1.17 mmd

Las cifras expresadas en mmd se refieren a miles de millones de dólares. Las cifras en negritas son a nivel mundial y el texto normal se refiere al caso de Estados Unidos.

Fuente: Roco (2011).

Podemos ver un avance importante en todos los rubros, con crecimiento en la producción científica, el registro de patentes y el valor de los productos en el mercado. Las cifras del sitio especializado statnano.com nos ayudan a completar este panorama: de 2009 a 2013 el número de artículos sobre nanotecnologías en la base de datos ISI (Web of Science) pasó de 74,033 a 116,031; y para el mismo periodo las patentes en la *United States Patent Office* (USPTO) pasó de 10,450 a 21,379.

La base de datos de patentes de la OCDE, revisada en octubre de 2013, muestra datos interesantes sobre la distribución de patentes en NT por país (o región). Estados Unidos es el líder indiscutible con un 34.8% del total, la Unión Europea tiene el segundo puesto con el 23.46% y sigue Japón con un 21.79%; Brasil es el país latinoamericano más avanzado con un 0.24% que duplica el 0.12% de México. Una recolección de datos experimental, realizada por la OCDE (2013, p. 160), señala a Estados Unidos como el país con un mayor número de empresas activas en NT con 4928, le siguen Alemania (960) y Francia (524); el trabajo de

Záyago y colaboradores (2012) reporta un total de 101 empresas en México. Los datos de la OCDE también ofrecen información sobre la proporción del gasto de I+D que las empresas destinan a NT: Estados Unidos también encabeza esta lista con un 4.8%, lo siguen México (4.6%) y la Federación Rusa (3.5%).

### **Las NT como Tecnología de Utilidad General (TUG)**

Con frecuencia se habla de las NT como la TUG del siglo XXI (OECD, 2010, p. 14) por lo que se espera que alcance altos niveles de penetración, mejora continua e impulso de innovaciones complementarias para impulsar las industrias tradicionales al permitir nuevas funciones y agregar valor a productos existentes. Además, las NT podrán dar lugar a innovaciones más radicales que permitirán el crecimiento de nuevas compañías e industrias, especialmente en convergencia con las biotecnologías y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) (Ibíd).

Existen múltiples estudios que en los últimos años se han dedicado a establecer la posible condición de las NT como TUG a través del análisis de datos de patentes y su comparación con casos anteriores de TUG como la electricidad y las TICs. Youtie y colegas (2008) establecieron que el nivel de penetración de las NT en diferentes áreas de aplicación de patentes es semejante al de las etapas tempranas de las TICs, entre 1976 y 1979. Wong y su equipo (2007) identificaron un paso del dominio inicial en el área de instrumentación para el manejo de las tecnologías hacia desarrollos basados en aplicaciones (lo cual refleja la característica de generación de innovaciones complementarias de las TUG). Los resultados de Palmberg et al. (2009) demuestran una creciente distribución de las patentes en un amplio rango de áreas secundarias y campos de aplicación.

Pero un análisis más profundo, realizado por Schultz y Joutz (2010), a partir de un índice de generalidad -la capacidad de ciertas patentes para ser citadas en campos diversos- mostró ciertas áreas como “procesos químicos y materiales”, “medicina y biotecnología” y “nanoelectrónica” que destacan frente a otras especialidades de NT.

Un caso ejemplar del avance de aplicaciones específicas son los nanotubos de carbono, material que a lo largo de los últimos 15 años ha disminuido su precio de forma impresionante, pasando de más de 1000 dólares por gramo en 1996 a menos de 100 por gramo en 2011 (Rogers

et al., 2011); así mismo la capacidad de producción que en 2004 no alcanzaba las 500 toneladas por año en 2011 ya superaba las 3000 toneladas anuales (Volder et al., 2013).

A pesar de que se trata de un conjunto tecnológico en construcción, que apunta a seguir creciendo, los indicadores de patentes sugieren que las NT satisfacen las condiciones principales - penetración, dinamismo tecnológico y generación de innovaciones- para considerarlas como una TUG emergente (Teichert, 2012, p. 125) que está en proceso de consolidarse.

### **Características de las NT**

La gran mayoría de las NT que se encuentran actualmente en el mercado son resultado del enfoque de arriba hacia abajo (*top-down*) que consiste en manipular los materiales de lo grande hacia lo pequeño a través de técnicas avanzadas de litografía, corte, grabado y afilado (OECD, 2010, p. 23); en esencia se trata de “esculpir” los materiales, retirando lo que no se necesita hasta lograr las propiedades deseadas. En contraste, se espera que los avances revolucionarios de las NT lleguen a través del enfoque de abajo hacia arriba (*bottom-up*), más cercano a la visión original de Drexler, que consiste en ensamblar piezas atómicas y moleculares para crear materiales y artefactos útiles a través de procesos de síntesis química, autoensamblaje, ensamblaje por posición e incluso por procesos bioquímicos (Íbid, p. 24). Los principales retos para el trabajo de abajo hacia arriba se encuentran en mejorar la eficiencia económica de las técnicas para poder llevarlas a escala industrial, aunque ya existen materiales -como los nanotubos de carbono y el grafeno- exitosos en este sentido.

Los avances que actualmente trabajan las NT involucran una amplia gama de disciplinas para su desarrollo, por lo que sería confuso repasar lo que se hace en cada campo. Para ofrecer un panorama general, y de forma más pragmática, nos apoyaremos en el trabajo de Monguillo (2007), David (2008), Freudenburg y Collins (2012, p. 242) y Tsuzuki (2009) para distinguir 6 grandes áreas de avance en las que actualmente se distribuye el avance de las NT:

1) Medicina. Nuevos métodos para el diagnóstico de enfermedades; protocolos para la administración de medicamentos con efectos secundarios negativos mínimos (enviando los fármacos a lugares específicos); vendas que evitan infecciones y facilitan la regeneración de piel en quemaduras; así como sistemas de etiquetado molecular.

2) Energía. Desarrollo de fuentes renovables de energía limpias y costeables (en especial materiales para celdas solares con mayor eficiencia y versatilidad en su instalación); creación de baterías eléctricas más eficientes, como las que se usan en cámaras digitales y celulares, pero con capacidad para aplicaciones más robustas como autos y casas; catalizadores para combustibles; y sistemas de transmisión de energía de alta densidad.

3) Calidad ambiental. Técnicas viables para detectar y eliminar contaminantes del agua y el aire; protocolos innovadores para la remediación de desechos peligrosos; mejoras en procesos industriales orientadas a la reducción en el uso de materias primas.

4) Información y comunicaciones. Técnicas avanzadas para el almacenaje de información; nuevos dispositivos de cómputo (transistores de un solo electrón y sistemas de computación cuántica); así como pantallas ultradelgadas, más brillantes y eficientes.

5) Industria pesada. Aplicaciones de nuevos materiales para medios de transporte y para la construcción, enfocados en el desarrollo de fibras más resistentes y ligeras; recubrimientos resistentes al desgaste para alargar la vida útil de la maquinaria; materiales auto-limpiantes.

6) Bienes de consumo. Son los menos revolucionarios pero a la vez los más presentes en el mercado. Incluyen la producción de alimentos y empaques para alimentos; cosméticos e insumos de cuidado personal; nuevos textiles antimanchas o que facilitan la transpiración; agentes antibacteriales para lavadoras; y múltiples aplicaciones en equipo deportivo.

Foladori (2010, pp. 37-38) resume el aporte de las NT en tres fortalezas: la posibilidad de hacer más eficientes los productos que hoy en día conocemos, la posibilidad de hacer productos multifuncionales, y reducir y sustituir significativamente la cantidad de materia prima en muchas ramas industriales. Y él mismo apunta a la existencia de tres debilidades que se deben tomar en cuenta: la materia trabajada en nanoescala tiene propiedades toxicológicas desconocidas, la cuestión de quién se verá afectado en cuanto a la salud por esas tecnologías, y la cuestión del empleo y la división social del trabajo, tanto a nivel regional, nacional e internacional (Íbid, 41-42). De manera semejante Freudenburg y Collins (2012, p. 242), indican cuatro áreas de riesgo potencial de las NT: la seguridad laboral en relación a la fabricación o el uso de nanopartículas; la

seguridad del consumidor en contacto con productos que usan NT; posibles daños ambientales derivados de procesos industriales o de contaminación directa por el uso y desecho de productos con componentes de NT; y posibles alteraciones socio-económicas, particularmente en la agricultura, las materias primas y el trabajo. Para hacer viable un desarrollo exitoso de las NT es imprescindible hacer frente a estos riesgos.

### **Los riesgos de las NT**

Cualquier nueva tecnología implica ventajas de algún tipo: su razón de ser se encuentra en la posibilidad de desempeñar una función inédita; o bien hacer algo “viejo” pero en menor tiempo, con mayor eficiencia o a un costo menor. Pero las ventajas nunca llegan solas: toda tecnología implica riesgos y las NT no son la excepción. Experiencias pasadas -como la de la industria química, la energía nuclear o los organismos modificados genéticamente- han hecho patente que el manejo de los riesgos es un elemento esencial para el desarrollo exitoso de una nueva tecnología, toda vez que la percepción pública al respecto es clave para su adopción.

El riesgo no se puede ver en abstracto sino que se ubica en un contexto específico: las tecnologías presentan una mezcla de beneficios y riesgos -físicos y sociales- que incluyen la posibilidad de que los efectos nocivos o los benéficos, o ambos, se distribuyan de forma injusta (Priest, 2008, pp. 7-8). Todo el tiempo usamos tecnologías peligrosas sí pensamos que sus beneficios valen la pena: tendemos a ignorar o minimizar los riesgos de tecnologías que nos ofrecen claros beneficios como los teléfonos celulares y los automóviles (Ibíd, p. 28). Algo interesante es que las personas le prestan más atención al tamaño de las consecuencias e ignoran la probabilidad de que ocurran; hay una creciente preocupación sobre riesgos catastróficos y una oposición correspondiente a las tecnologías que los producen (Berube, 2007, p. 248). Este fue el caso del temor a la plaga gris (*grey goo*) que llamó poderosamente la atención en las primeras discusiones públicas sobre NT y finalmente fue señalada como técnicamente imposible por múltiples científicos, encabezados por Smalley (2001). En contraste los hallazgos de riesgos a la salud por parte de ciertas nanopartículas, como las que se usan en algunos cosméticos, han generado menores niveles de presencia mediática y resonancia cultural.

La falta de inquietud no significa que no haya peligro; es preciso investigar los posibles efectos nocivos de las diferentes NT para divulgarlos a las autoridades y a los diferentes sectores del público sin caer en el

alarmismo (Priest, 2012, p. 67). En realidad esto aplica para cualquier avance tecnológico, pero resulta de especial interés en este caso porque las nanopartículas no se pueden observar a simple vista y nuestro cuerpo no percibe de forma inmediata el daño que causan, solo se sienten los efectos a largo plazo:

“Se ha mostrado que cuando las nanopartículas son absorbidas inicialmente pueden no causar ningún síntoma (...) pero aun así pueden causar estrés dentro de los órganos que siguen expuestos, con lo que sus efectos son impredecibles. También existe al asunto de si una nanopartícula, después de absorbida, se acumula en el cuerpo o si la concentración se reduce gradualmente con el tiempo.” (Ngô y Van der Voorde, 2014, p. 446)

Si bien experiencias con sistemas tecnológicos pasados se han traducido en regulaciones orientadas a prevenir los riesgos en el manejo de ciertas sustancias y procesos, las técnicas existentes para evaluar la toxicidad de las NT no pueden extrapolarse a partir de lo que ya existe para materiales “grandes”. Las mismas propiedades que hacen novedosas a las NT las vuelven impredecibles y peligrosas, exigiendo especial atención al manejo de su seguridad.

Las nanopartículas podrían tener una mayor toxicidad que las versiones mayores de las mismas sustancias por su capacidad para llevar grandes cantidades de sustancias tóxicas a varios órganos (Andorno y Biller-Andorno, 2014, p. 132), pudiendo entrar al cuerpo al ser inhaladas, ingeridas y posiblemente a través de la piel (Íbid). Además, puede darse el caso en que las nanopartículas no causen un daño inicial en el cuerpo pero que una exposición prolongada cause una acumulación y daño en áreas sensibles como pulmones, cerebro o hígado; y actualmente no se cuenta con una comprensión toxicológica de los efectos que pueden tener las nanopartículas a largo plazo (Ngô y Van der Voorde, 2014, p. 443).

Y el análisis de los riesgos no puede limitarse al producto en sí, debe incluir todo su “ciclo de vida”: considerando la producción, el uso/consumo y el desecho. Esto implica tomar en cuenta los cambios en los materiales por efectos de desgaste y contaminación (Íbid, p. 445), y estudiar la exposición de las personas involucradas en su producción, los consumidores y los efectos que pueden tener en el medio ambiente. Además, una distinción trascendente es el hecho que los trabajadores expuestos a nanopartículas tienen un contacto constante sin la libertad de parar su actividad y, con ella, la exposición; mientras que los consumidores tienen un contacto mucho menor y pueden elegir si se exponen o no, suponiendo que estén informados.

Hasta el año 2010 la NanoCeo (Nanotechnology Citizen Engagement Organization) contaba con una base de datos con 176 artículos sobre los riesgos de los nanotubos de carbono, 190 sobre la nanoplata y 70 sobre las nanopartículas de dióxido de titanio (Foladori e Invernizzi, 2012, p. 17); esto en sí mismo es una fuerte llamada

de atención, al destacar que no se puede hacer una evaluación general de los posibles efectos adversos, se debe ir caso por caso y existe un gran número de nanomateriales diferentes. El número de materiales y artefactos es tan amplio que resulta muy complicado estandarizar y evaluar los riesgos para todos los casos. La capacidad de la comunidad toxicológica para estudiar los riesgos de diferentes avances se ve rebasada por la prisa de la industria por introducir nuevos productos al mercado (Berube et al., 2010, p. 20). Entonces el debate de fondo sobre el manejo de los riesgos de las NT no versa solo en un peligro de un caso específico sino que debe analizar cómo proceder frente al reto que plantea la limitada información disponible:

“Los precavidos quieren estándares regulatorios que limiten la entrada de nanopartículas al mercado hasta que se haya demostrado su seguridad. En contraste, los cautos están desarrollando un catálogo de características de nanopartículas para permitir que los reguladores e investigadores valoren, clasifiquen y pongan en orden los perfiles de las nanopartículas.” (Berube et al., 2010, pp. 19-20)

Esta diferencia plantea una pregunta social fundamental, y la respuesta -plasmada en las regulaciones de los diferentes países u organismos supranacionales- define en gran medida la ruta para el avance de las NT en los diferentes contextos. Mientras que la Unión Europea ha decidido adoptar un enfoque precavido<sup>6</sup> en Estados Unidos prevalece una visión cauta, que solo retira las nanopartículas del mercado cuando se ha probado su efecto nocivo; en muchos países, la mayoría, aún no existen regulaciones o políticas claras al respecto. En este contexto el ETC Group (Erosion, Technology, and Concentration) desde hace más de 10 años ha pedido una moratoria para la comercialización de productos con NT hasta que exista un enfoque más adecuado para las preocupaciones de seguridad (David, 2008, p. 13). En cualquier caso, la ruta a seguir no se limita al abordaje técnico de los riesgos sino que implica todo un entramado social con los intereses de las diferentes organizaciones que, de una u otra forma, se ven inmiscuidos en el avance de las NT.

### **3.3 Importancia de la divulgación de NT**

Las NT son un sistema científico-tecnológico en el que se han realizado inversiones considerables a nivel internacional, con las expectativas que esto conlleva, y que corre el riesgo

---

<sup>6</sup> Basado en el principio de precaución que señala: “cuando una actividad hace surgir amenazas de daño para el medio ambiente o la salud humana, se deben tomar medidas de precaución incluso si no se han establecido de manera completamente científica algunas relaciones de causa-efecto” (Declaración de Wingspread, citada por de Cózar, 2005, p. 137)

de enfrentarse a una reacción pública adversa semejante a la de los cultivos modificados genéticamente (Macnaghten, 2010, pp. 23-24). Desde un inicio, la búsqueda de una percepción pública favorable, es un tema que ha preocupado a los promotores de las NT.

“Se puede afirmar que la nanotecnología y la nanociencia son el primer ámbito científico-tecnológico en el que preocupan abiertamente las percepciones sociales que existen sobre él. Dicho ámbito nace y se desarrolla pendiente o preocupado por las percepciones y actitudes públicas.” (Gómez, 2012, pp. 178-179)

Por eso las autoridades buscan, con la bandera de innovación responsable, caracterizar las preocupaciones sociales de manera proactiva para integrarlas desde etapas tempranas en los programas de investigación en NT (Macnaghten, 2010, p. 24); pero también se pueden interpretar estas acciones como esfuerzos para supervisar las reacciones públicas y diseñar una sociedad que vivirá con los productos nano, en un afán de allanar el camino para integrar estas nuevas tecnologías a la sociedad (Bensaude-Vincent, 2012, p. 90), evitando estigmas sociales que se han tenido o tienen en otras áreas de la CyT (Gómez, 2012, p. 178).

Habría entonces un posible choque entre las visiones con que las diferentes organizaciones se acercan al proceso de divulgación y construcción social de las NT: entre un posible cambio guiado por la oferta tecnológica, con el mercado dándole forma a los nuevos productos y el gobierno actuando como facilitador de los cambios, y otra ruta definida por el impulso social, que responda a las necesidades y aspiraciones de los diferentes actores y organizaciones involucrados. En este contexto el modelo y enfoque usados en la divulgación son fundamentales para orientar la postura de los agentes frente al avance de las NT, especialmente de cara a los retos planteados por los aspectos sociales que llevan asociados.

Ya discutimos como la CyT interaccionan de forma dinámica con la sociedad, moldeándose recíprocamente; por tanto la ruta a seguir por las NT es definida socialmente y afectará a la sociedad en su conjunto. En este contexto es preciso que la divulgación del tema trascienda lo técnico para incorporar los diferentes aspectos sociales relevantes. Lewenstein (2005, p. 7) ofrece cuatro grandes aspectos a tomar en cuenta, los cuales aquí buscamos apuntalar con preguntas que podrían servir como guía en la discusión pública del tema:

1. Aspectos económicos y políticos. Tienen que ver con el valor económico de los nuevos materiales e industrias creados a través de las NT, así como las posibles rupturas económicas por cambios en las inversiones y la caída de industrias relacionadas con tecnologías desplazadas. Para este caso podemos preguntarnos ¿qué industrias están sacando provecho de las NT a nivel nacional e internacional? ¿sus productos ofrecen beneficios reales a la sociedad? ¿se benefician solo de su inversión o sacan provecho también a los recursos públicos? ¿se hace algo para prever el problema de la fuerza de trabajo que podría verse desplazada por los nuevos avances?

2. Aspectos en prioridad de inversión pública. El financiamiento público para la investigación en NT implica la existencia de problemas importantes para la sociedad que pueden ser resueltos a través de sus avances. Las preguntas clave para este aspecto serían ¿quién define las líneas prioritarias para la inversión de NT en un país? ¿responden a necesidades sociales? ¿a quién se consulta para establecerlas? ¿quiénes se ven beneficiados/afectados con la elección?

3. Aspectos de desigualdad (la brecha nano). Desde hace mucho se habla de cómo la CyT ayudarán a mejorar la vida de toda la humanidad (World Bank, 1998; PNUD, 2001, P. 30), pero en realidad los beneficios de los grandes avances tienden a acentuar las brechas de desigualdad: se ven beneficiados los países centrales y las personas/empresas que ostentan la riqueza; mientras que la periferia y la población más pobre se rezagan y además con frecuencia deben lidiar con los efectos nocivos de las nuevas tecnologías. Cabe preguntarnos entonces si las NT siguen una ruta que permita contrarrestar las brechas de desigualdad o contribuirán a acentuarlas aún más.

4. Aspectos del manejo de riesgos. Ya señalamos que existen múltiples señales de alerta acerca de los riesgos de las NT, por lo que resulta esencial avanzar en la definición de regulaciones que permitan un avance seguro de estas tecnologías. Este aspecto se vuelve sensible toda vez que existen importantes conflictos de interés entre las grandes empresas que tienen inversiones millonarias en determinadas NT, los gobiernos que en teoría deben ver por los intereses de sus ciudadanos pero que también se ven sujetos a fuertes presiones políticas y económicas, y las organizaciones sociales que pugnan por un desarrollo seguro de las nuevas tecnologías.

Cada uno de estos temas invita a la reflexión, pero no solo académica sino a una profunda discusión

social que podría servir como referente para el avance no solo de las NT sino de cualquier nuevo sistema de CyT. En Estados Unidos y la Unión Europea se han hecho esfuerzos para, desde un modelo de compromiso público, promover una participación social temprana a través de paneles ciudadanos, consejos asesores y estudios de percepción (Chittenden, 2011; Laurent, 2012). Pero esto ha tenido un impacto limitado a sectores ciudadanos muy específicos, mientras la mayoría de las personas -y las organizaciones sociales- siguen sin tener una perspectiva clara de los nuevos avances. Por otro lado, en contraste a estos esfuerzos de participación construida de arriba hacia abajo, encontramos algunas organizaciones -sobre todo grupos ambientalistas y sindicatos- que intentan incidir en la ruta de las NT, con atención especial al tema de regulación de riesgos.

Como dijimos antes, en 2003 el *ETC Group* pidió detener la introducción de nuevas NT al mercado hasta tener garantía de su seguridad; en 2007 la IUF (*International Union of Food, Agricultural, Hotel, Restaurant, Catering, Tobacco and Allied Workers' Associations*), organización que agrupa a 365 sindicatos de 122 países y representa a más de 12 millones de trabajadores, emitió una declaración sobre las NT:

“pidiendo un debate público, advirtiendo que los productos con componentes nano se están lanzando al mercado antes de que la sociedad civil y los movimientos sociales puedan evaluar sus posibles implicaciones económicas, ambientales y sociales y su efecto en la salud humana. Más aún, la declaración advirtió la necesidad de asegurarnos que el debate de un asunto que llevará a profundos cambios sociales no puede dejarse exclusivamente a los expertos.” (Foladori y Záyago, 2010, pp. 158-159)

Aunado a esto, entre otras cosas, la resolución de la IUF sobre NT hizo un llamado para movilizar a las organizaciones afiliadas para llevar a cabo una amplia discusión social sobre las posibles consecuencias de las NT; se demandó que los gobiernos y las organizaciones implicadas apliquen el Principio de Precaución, prohibiendo la venta de alimentos, bebidas, forraje y todos los insumos de agricultura que contengan NT hasta que muestren ser seguros y sean aprobados por un sistema internacional de regulación diseñado ex profeso. Finalmente se pidió a la *International Labour Organisation* (ILO), realizar un estudio urgente sobre el impacto de las NT en las condiciones de trabajo y empleo en la agricultura y la industria de los alimentos; con miras a realizar una conferencia tripartita al respecto (Íbid). El impacto de esta postura radica en la contraposición a las propuestas avaladas por gobiernos y empresas, enriqueciendo así el debate.

Un elemento interesante de la petición de moratoria por parte de la IUF, así como la del mismo ETC Group, es que se funda en la experiencia histórica más que en un análisis técnico específico. Foladori y Záyago (2010) señalan que la experiencia histórica es un concepto sociológico fuerte para el análisis político pero muy débil en el análisis técnico; para los científicos, expertos en tecnología y empresarios, las experiencias previas no revisten gran importancia. Sin embargo, para los sindicatos los referentes de interacciones pasadas con empresas y corporaciones son decisivos en la medida que demuestran que éstas ponen las ganancias por encima de la previsión en seguridad, así como ponen de manifiesto que los avances en regulación de riesgos no fueron implementados de forma voluntaria por las empresas sino que resultaron de la lucha de trabajadores y organizaciones no gubernamentales (Íbid, pp. 159-160).

En este sentido las organizaciones de sindicatos y el ETC Group no están solos: el Centro de Nanotecnología y Sociedad de la Universidad de California en Santa Barbara tiene identificados 125 grupos activistas que pugnan por una mayor regulación de las NT (Phillips, 2012, 579). Cabe aclarar que, pese al gran número de grupos, se trata de esfuerzos focalizados: estudios del mismo centro muestran que no hay una aversión pública a las NT como la hubo con la ingeniería genética. Aún así las reacciones dependen del tipo de NT en cuestión: los usos para energía limpia son bien recibidos pero los usos en alimentos o la nano-mejora humana provocan una reacción muy negativa (Íbid). En todo caso aún hay mucho por hacer en la divulgación de NT: gran parte de la sociedad no está informada sobre los elementos básicos del tema y mucho menos sobre sus aspectos sociales. Y es que la divulgación de NT debe primero abordar lo técnico, para que su comprensión permita dimensionar lo social, pero este aspecto debe tomar en cuenta retos específicos que lo distinguen respecto a la divulgación de otros temas de CyT.

### **Retos para la divulgación de NT**

La divulgación de las NT no puede abordarse de la misma forma que se comunica cualquier otro tema de CyT con el público no especializado, tiene una mayor riqueza conceptual y, por tanto, complejidad “porque implica la comunicación de una gran cantidad de conceptos no manejados por el público, pero necesarios

para su comprensión" (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011, p. 89). Así, desde nuestra perspectiva se deben tener en cuenta cinco obstáculos principales para la comunicación del tema:

i) Invisibilidad. A diferencia de otras TUG que son fácilmente identificables -como la electricidad, el vapor o los aparatos electrónicos- las NT son invisibles: físicamente son tan pequeñas que nunca podremos distinguirlas a simple vista y no tienen un elemento visible, como un reactor nuclear, que las haga notar. Un gran reto para la divulgación está en lograr que las personas imaginen cómo se vería algo que no pueden ver de forma directa y requiere avanzadas técnicas de microscopía para ser visualizado (Priest, 2012, p. 22).

ii) Tamaño y escala. Para la mayoría de las personas un nanómetro es algo muy abstracto, es difícil que se hagan una idea clara de la escala en la que trabajan las NT. Batt (2011, p. 238) señala que los investigadores del tema tienen cierto nivel de comprensión del tamaño a través de la habilidad adquirida de traducir medidas y eventos de la escala nano, pero el público no experto no cuenta con esta ventaja; facilitar una comprensión del tamaño requiere de enfoques creativos.

iii) Multidisciplina. El aprendizaje escolar nos tiene acostumbrados a acercarnos a los temas científicos desde la perspectiva de una disciplina científica específica, pero las NT son sumamente extensas e incluyen conceptos, metodologías y campos semánticos de diversas disciplinas (Serena, 2013, p. 66).

iv) Principios cuánticos. A pesar de que las reglas de la naturaleza a escala nano, y menor, permiten que nuestro Universo exista tal como lo conocemos, con frecuencia los principios de la física cuántica resultan contra-intuitivos y hasta extraños para la mayoría de las personas.

v) Mitos. Desde que el concepto de NT se introdujo a la discusión pública este sistema de CyT se ha asociado a escenarios tanto utópicos como apocalípticos: desde el ensamblaje molecular que puede construir cualquier cosa hasta los nanobots autoreplicantes que pueden acabar con la civilización. Para una buena divulgación del tema es esencial presentar una perspectiva realista que no se cargue a ningún extremo.

De entrada no es trivial divulgar las NT pero también existen ventajas en las que podemos apoyarnos. Entre los principales elementos a los que se puede echar mano para acercar el tema a sectores del público no especializado, Serena (2013, p. 66) señala la abundante presencia de productos nano en el mercado y la curiosidad que pueden despertar temas de ciencia ficción relacionados con NT. Además, conectando la naturaleza social de la construcción de la CyT con la importancia de las narrativas en el pensamiento

humano, se pueden aprovechar elementos históricos, biográficos y hasta anecdóticos inherentes a las NT para crear vínculos emotivos y cognitivos con el público. Finalmente, como un elemento para mayor claridad y facilidad de trabajo, Batt (2011, p. 238) propone realizar la divulgación de NT de la forma más general y básica posible, al contemplar 4 conceptos básicos indispensables:

1. Todas las cosas están hechas de átomos.
2. Las moléculas tienen forma y tamaño.
3. A la escala de nanómetros los átomos están en constante movimiento.
4. Las moléculas en su ambiente a escala nano tienen propiedades inesperadas.

Estos cuatro pilares técnicos facilitan una comprensión de los fenómenos que dan base a las NT y permiten elaborar discusiones más ricas y profundas: desde las características novedosas de los productos nano en el mercado, los posibles beneficios que se podrían encontrar en nuevos desarrollos, los riesgos asociados a estos avances, lo que la sociedad espera de las NT y otros aspectos sociales asociados al tema.

### **Estudios Relevantes**

Hasta ahora el trabajo académico en relación a la divulgación de las NT se ha centrado en dos puntos fundamentales: de un lado el grado de conocimiento y la percepción pública del tema; y del otro los estudios de contenido y enfoque en los medios masivos de comunicación (especialmente en revistas y periódicos).

Los resultados del primer tipo de investigaciones muestran que la mayoría de las personas no están familiarizadas con el concepto de NT y prácticamente no tienen conocimientos de lo que es y lo que podría llegar a ser (Macnaghten, 2010, p. 24). A pesar de esta ignorancia no parece haber un miedo a lo desconocido: un meta-análisis de 22 encuestas que se realizaron entre 2002 y 2009 en Estados Unidos, Canadá, Europa y Japón encontró bajos niveles de familiaridad con las NT pero con una visión de beneficios que se imponen a los riesgos con un margen de 3 a 1, aunque un 44% de las personas aún no establecían una postura al respecto (Roco et al., 2011, p. 3563).

El optimismo moderado por parte del público, que tiende a subestimar más que sobrestimar los riesgos, resulta extraño al considerar la creciente evidencia asociada a los posibles efectos nocivos de las

nanotecnologías. Priest (2012, p. 30) señala que normalmente ignoramos o minimizamos los riesgos de las tecnologías que nos ofrecen beneficios claros -como los teléfonos celulares y los automóviles- pero los beneficios más importantes de las NT aún están por llegar y aún así la perspectiva sigue siendo favorable. Aunque desde la visión empresarial o gubernamental las cosas están bien de esta manera, en realidad la indiferencia ante los riesgos representa un reto mayor para los esfuerzos divulgación: para llamar la atención sobre la existencia de riesgos pero sin caer en una postura alarmista (Ibíd, p. 67). Para esto ha sido de gran trascendencia el papel que las organizaciones sociales han desempeñado como agentes que demandan una divulgación específica sobre el tema de riesgos y trabajan para llevarla a sectores sociales más amplios, así como para incidir en políticas públicas.

La participación social -con el eje del tema de riesgos- se encuentra sobre la mesa y avanza en la discusión pública sobre NT. Pero el hecho de que se discuta el tema no garantiza un avance social, depende de la información que está llegando a los diferentes actores y organizaciones y la atención que se presta a su aporte. Los enfoques con que se abordan los riesgos dependen de los intereses de las organizaciones que constituyen las cuatro fuentes principales de información (Berube et al., 2010, pp. 23-24): sector privado, gobierno, academia y organizaciones sociales (en las cuales entra la clase trabajadora). Aunque de entrada se sospechan los intereses inherentes a cada una de las posturas, es necesario estudiar los perfiles (de contenido y enfoque) de los esfuerzos realizados, promovidos o financiados por las diferentes organizaciones.

Por ejemplo, Lewenstein (2005, p. 14) señala que muchos investigadores en NT se preocupan que la cobertura mediática del tema se aborda demasiado los riesgos y no lo suficiente los beneficios con lo que se podría afectar la opinión pública y dificultar el logro del potencial que anticipan para las NT. Encontramos aquí una pugna de poder: los investigadores quieren definir lo que constituye un desarrollo adecuado del campo, sin el temor de que algún otro grupo social pueda ejercer su poder para definir el rumbo de las NT (Íbid). En todo caso esto refuerza la idea de Hilgartner (1990, p. 531) de que quienes hacen divulgación manejan el proceso de acuerdo a sus intereses. Se llega entonces a una tendencia general de privilegiar de forma sustancial la cara técnica de las NT sobre temas como riesgos a la salud y el medio ambiente o preocupaciones éticas (Beasley, 2010, p. 2).

Si partimos del supuesto de que la información que se ofrece en la divulgación es válida desde el punto de vista técnico (aclarando que esto no siempre ocurre y hay casos en que se divulgan mentiras de forma consciente), no hay muchas variaciones en el contenido de fondo, el principal elemento para intentar incidir

en la postura de las personas y organizaciones respecto a las NT es el enfoque. Recordemos que, al destacar ciertos aspectos sobre otros, el enfoque influye poderosamente la forma en que se percibe un tema; al influenciar ciertos valores o juicios en el público o bien la forma en que las personas perciben un problema y sus consecuencias (Lively et al., 2012, p. 226).

A partir del trabajo de Macnaghten (2010, p. 28) y Lively y colaboradores (2012, pp. 227-229), podemos construir una tipología de 5 niveles para los enfoques que llevan el tema de NT al dominio público:

**i) Utopía.** Promete una revolución en la que las NT van a extender y transformar las capacidades humanas físicas y sensoriales para trascender las restricciones naturales;

**ii) Avance posible.** Señala a las nanotecnologías como una nueva ciencia que podría contribuir a hitos esperados a través de trayectorias existentes en múltiples sectores y esferas de aplicación;

**iii) Riesgo genérico.** Aborda los posibles peligros asociados a las NT, llama la atención a que podría haber un costo por los beneficios pero no demanda una regulación;

**iv) Regulación.** Introduce procesos políticos de forma explícita, al enfatizar en la necesidad de acción gubernamental para proteger al público; y

**v) Conflicto.** Destaca las disputas entre los intereses de diferentes actores, la forma en que las pugnas de poder definen la dirección del avance de las NT. Se abordan términos políticos concretos.

Esta tipología servirá como base para identificar el enfoque de las estrategias de divulgación que se estudian en el presente proyecto y, con él, ayudar a caracterizar el panorama que se ofrece a la sociedad sobre las NT.

#### 4. España, Estados Unidos y México: panorama para el estudio de la divulgación de NT

El presente proyecto aborda las estrategias de divulgación de NT en Estados Unidos, España y México, tres países muy diferentes entre sí en cuanto a su realidad social, política, económica y científico-tecnológica. Para iniciar el abordaje de nuestro estudio es imprescindible tener un panorama de las características generales de los tres países, de forma que el análisis pueda contemplar las asimetrías presentes en la comparación. La tabla 4.1 nos muestra diferencias elementales en cuanto a la población y el territorio de las naciones consideradas.

**Tabla 4.1 Características de población y territorio de España, Estados Unidos y México en 2014**

Característica / País	España	Estados Unidos	México
Población en 2014	47,737,941	318,892,103	120,286,655
Superficie territorial	505,370 km <sup>2</sup>	9'826,675 km <sup>2</sup>	1'964,375 km <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia con datos de [www.census.gov](http://www.census.gov) y <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>

En lo referente a las condiciones económicas -presentes en la tabla 4.2- encontramos importantes asimetrías: en 2012 para México la cifra del producto interno bruto *per cápita* es de 9817.83 dólares por persona, monto casi triplicado por España con 28281.56 dólares y el cual a su vez es superado con creces por el de Estados Unidos, con 51,755.21 dólares por persona.

**Tabla 4.2 Producto Interno Bruto per cápita en dólares a precios actuales**

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
España	14413	14939	16564	20950	24337	25904	27847	31871	34674	31368	29732	31117	28281
Estados Unidos	36467	37285	38175	39682	41928	44313	46443	48070	48407	46998	48357	49854	51755
México	6581	6879	6948	6601	7042	7823	8622	9190	9559	7690	8920	9802	9817

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2014)

Cuando pasamos a los datos relacionados con CyT los contrastes siguen: aunque la tabla 4.3 muestra que los tres países tienen una ligera tendencia a aumentar la proporción del PIB que invierten en actividades de I+D, en Estados Unidos el porcentaje es más del doble del que se dedica en España y 6 veces mayor que el de México. Y además se debe considerar que el PIB de Estados Unidos es mucho mayor al de los otros dos países. Esto nos señala, además, que en términos brutos en 2012 Estados Unidos invirtió 453 mil millones de dólares (mmd) en este

rubro, comparados con 17 mmd en España y poco menos de 5 mmd de México en 2011 (el año más reciente con datos del Banco Mundial). Con estas cifras vemos que la inversión estadounidense en I+D supera casi 100 veces las cifras mexicanas.

**Tabla 4.3 Inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) como porcentaje del Producto Interno Bruto**

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
España	0.90	0.91	0.99	1.04	1.06	1.12	1.19	1.26	1.35	1.39	1.39	1.35	1.30
Estados Unidos	2.61	2.63	2.54	2.55	2.48	2.50	2.54	2.62	2.76	2.81	2.73	2.76	2.79
México	0.31	0.33	0.37	0.38	0.39	0.40	0.37	0.36	0.40	0.43	0.45	0.42	ND

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2014)

También encontramos disparidad -aunque un poco menor- en el número de investigadores por millón de personas, como podemos ver en la tabla 4.4, con una mayor cercanía entre España y Estados Unidos, mientras que México se queda muy atrás al respecto. En todo caso si proyectamos estas cifras al total de la población de los tres países, vemos que Estados Unidos cuenta con más de 1.26 millones de investigadores, por 128 mil de España y 47 mil en México.

**Tabla 4.4 Investigadores en actividades de I+D por cada millón de personas**

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
España	1903	1964	2015	2202	2364	2528	2629	2745	2895	2924	2915	2799	2719
Estados Unidos	3424	3454	3524	3607	3845	3739	3692	3755	3731	3883	4042	3837	3978
México	213	213	222	291	310	363	396	323	334	327	369	382	386

Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2014)

Para abordar datos específicos del trabajo en NT, la tabla 4.5 nos muestra la diferencia existente en los artículos publicados y las patentes registradas.

En 2013 Estados Unidos se ubicó en el segundo lugar mundial en artículos científicos sobre NT (21,259), China le arrebató el primer lugar a partir de 2008, y primer lugar en patentes (12,205); España ocupa el décimo lugar mundial en artículos (3622) y cae hasta el 22 en patentes (39); y México se ubica en el lugar 27 en artículos (941) y en el 28 en patentes (13).

Los datos actuales, y la evolución temporal que podemos ver en la tabla, son reflejo de la inversión y el trabajo estratégico que los tres países han realizado para promover el avance de las NT. La diferencia en artículos es considerable pero en el tema de patentes resulta abismal, lo cual

no solo nos refiere a la diferencia en inversión sino al mismo funcionamiento de los sistemas de innovación de los diferentes países.

**Tabla 4.5 Producción por país de artículos sobre NT en Web of Science y patentes en la oficina de patentes de Estados Unidos (USPTO). Nota: Los artículos científicos aparecen en letra normal y las patentes en negrita.**

País	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
España	666 <b>5</b>	815 <b>8</b>	862 <b>4</b>	1092 <b>3</b>	1322 <b>5</b>	1586 <b>3</b>	1898 <b>4</b>	2137 <b>9</b>	2449 <b>10</b>	2719 <b>13</b>	3055 <b>18</b>	3429 <b>39</b>	3622 <b>39</b>
Estados Unidos	5491 <b>3510</b>	6661 <b>3875</b>	7820 <b>4398</b>	9207 <b>4574</b>	11164 <b>4306</b>	12494 <b>5548</b>	13542 <b>5689</b>	14785 <b>5714</b>	15587 <b>6410</b>	17409 <b>8730</b>	18747 <b>9137</b>	19841 <b>10383</b>	21259 <b>12205</b>
México	200 <b>0</b>	234 <b>2</b>	330 <b>2</b>	346 <b>1</b>	438 <b>0</b>	484 <b>1</b>	512 <b>1</b>	650 <b>5</b>	667 <b>0</b>	669 <b>5</b>	743 <b>5</b>	828 <b>7</b>	941 <b>13</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de statnano.com

Ante desigualdades tan marcadas es válido cuestionar esta comparación de tres países en un análisis relacionado con un sistema científico-tecnológico emergente. Empero, nuestro estudio se centra en la forma en que las estrategias de divulgación involucran a la sociedad en el avance de las NT; así que, en vez de convertirse en un obstáculo, la heterogeneidad de los países abordados puede darnos mayor claridad para distinguir la forma en que se promueve la construcción social de las tecnologías emergentes en cada contexto. Con esto en mente a continuación haremos una breve caracterización de cada país, iniciando por un panorama general de sus sistemas de innovación, la investigación que llevan a cabo en NT y las acciones que en cada caso se han emprendido para la divulgación del tema.

#### **4.1 Estados Unidos: el líder.**

Estados Unidos es el líder mundial en inversión en I+D, con 464.5 mmd que representan el 31.1% de la inversión mundial en este rubro en 2014 (Grueber y Studt, 2013, p. 1). El sistema nacional de innovación de este país cuenta con una distribución de fuentes de inversión para la investigación, que de acuerdo a Grueber y Studt (Íbid, p. 8) se reparten de la siguiente manera: el principal aporte viene de la industria (307.5 mmd), le siguen el Gobierno Federal (123 mmd), las organizaciones sin fines de lucro (16.7 mmd), la academia (13.3 mmd) y otros niveles de gobierno (4 mmd). Esto nos muestra que la industria aporta el 66.2% del total de los recursos para I+D, mientras que el 25.8% proviene del Gobierno Federal.

Vale la pena destacar en este punto que la inversión gubernamental no es ejercida de forma directa por un

solo organismo rector de la política en CyT, como sería la *National Science Foundation* (NSF), sino que el recurso se distribuye en un gran número de agencias gubernamentales para generar políticas transversales con impacto en diferentes sectores. En este sentido el presupuesto de las NT es un caso ejemplar, toda vez que un gran número de agencias gubernamentales se distribuyen la inversión estadounidense en este sistema científico-tecnológico:

**Tabla 4.6 Distribución de inversión en NT por agencia gubernamental en Estados Unidos en 2013 (en millones de dólares)**

DOE	NIH	NSF	DOD	DOT	NASA	EPA	NIOSH	FDA	NIFA	DHS	FS	CPSC	DOT	ARS	Total
314.2	458.8	421.0	170.1	91.4	16.4	14.6	10.5	16.1	12.5	14.0	5.0	1.3	2.4	2.0	1550

DOE: *Department of Energy*; NIH: *National Institutes of Health*; NSF: *National Science Foundation*; DOD: *Department of Defense*; DOC: *Department of Commerce*; NASA: *National Aeronautics and Space Administration*; EPA: *Environmental Protection Agency*; NIOSH: *National Institute of Occupational Safety and Health*; FDA: *Food and Drug Administration*; NIFA: *National Institute of Food and Agriculture*; DHS: *Department of Homeland Security*; FS: *Forest Service*; CPSC: *Consumer Product Safety Commission*; DOT: *Department of Transportation*; ARS: *Agricultural Research Service*. Fuente: Nano.gov

Vemos que, para 2013, un total de 15 agencias se distribuyeron más de 1.5 miles de millones de dólares para I+D en NT en función de los temas estratégicos que competen a cada caso. Del total de este presupuesto apenas el 27% fue ejercido por la NSF.

**Tabla 4.7 Evolución de inversión federal de Estados Unidos en NT.**

Cifras de monto en millones de dólares. AFI: Agencias federales involucradas.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Monto	464	697	760	989	1200	1351.3	1424.1	1554.5	2212.8	1912.8	1847.3	1857.3	1550.2
AFI	8	9	9	10	11	13	13	13	15	15	14	15	15

Fuente: Elaboración propia con información de nano.gov

Pero todos estos recursos no se quedan en un ejercicio directo dentro del gobierno, sino que sirven como palanca para dinamizar el sistema nacional de innovación. Es una característica del sistema de I+D en Estados Unidos que, aunque muchas de las agencias gubernamentales cuentan con sus propios centros de investigación e importantes relaciones con universidades, una gran parte de los recursos son canalizados a actividades de investigación que se realizan en la industria (Mowery, 1998, p. 646), lo que ayuda a fortalecer el entramado de relaciones entre organizaciones vinculadas al avance de la CyT.

Freeman (2001, p. 126) señala que una característica especial del sistema de innovación de los Estados Unidos es que los grandes centros de investigación en universidades, agencias del gobierno y un importante número de firmas privadas sirven como incubadoras para el desarrollo de innovaciones, que en muchos casos

son comercializadas por individuos que salen de la institución para convertirse en empresarios innovadores. El mismo autor señala que esto se ha facilitado por el sistema privado de capital de riesgo, más fuerte en EE.UU. que en ningún otro lado, que impulsa el esfuerzo de las nuevas firmas pequeñas.

A esto se añade la creciente importancia de las relaciones entre industria y universidades, sobre todo para el financiamiento de centros de investigación; lo cual representa un importante aliciente para que tales espacios busquen trabajar en temas de interés directo para las empresas (Mowery, 1998, p. 648). Estas condiciones, le otorgan un gran dinamismo a las relaciones entre organizaciones que fomentan la I+D en el sistema nacional de innovación norteamericano.

A pesar de que las cifras sugieren una participación gubernamental marginal en la promoción de la innovación, con apenas una cuarta parte de los recursos de I+D, en realidad el Gobierno Federal desempeña un rol fundamental para la promoción de investigación básica necesaria para el avance de sistemas tecnológicos emergentes. Freeman (2001, p. 127) destaca el papel de la inversión federal en la segunda mitad del siglo pasado, a través de agencias militares y otros departamentos, para el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs); asumiendo el riesgo de invertir en un sistema tecnológico estratégico que en ese momento no parecía viable comercialmente. Fue lo mismo que ocurrió previamente, gracias al impulso de intereses militares y nacionalistas, con el desarrollo de la energía nuclear, la tecnología espacial y lo que, de manera más reciente, sucedió en los primeros años de avance de las NT.

Estados Unidos es sin duda el referente mundial en cuanto al impulso de las NT, sus estrategias abrieron camino y marcaron una tendencia a nivel internacional desde la década de 1990. La NSF fue la primera agencia gubernamental en usar el prefijo nano en un programa federal al establecer la *National Nanofabrication Users Network* en 1994 (Eisler, 2012, p. 14). Durante el periodo 1998-2000 la labor conjunta de investigadores y funcionarios gubernamentales logró unir a campos fragmentados de la ciencia e ingeniería a escala nano para establecer una definición científica y una visión de 10 años para la I+D en NT (Roco, 2011, p. 427). Esta perspectiva quedó planteada en el documento *Nanotechnology Research Directions* (Roco et al. , 2000) que sirvió como base para la *National Nanotechnology Initiative* (NNI), anunciada por el Presidente Bill Clinton en el año 2000, programa que se ha renovado para mantenerse vigente hasta la fecha y que ha invertido más de 19 mil millones de dólares en este sistema científico-tecnológico emergente (NNI, 2014).

El eje principal de inversión en investigación básica -tanto para las NT como para otros temas de CyT- se

encuentra en la NSF<sup>7</sup>, institución encargada de mantener a Estados Unidos en la vanguardia de descubrimientos en la ciencia (NSF, 2014). Con el afán de darle una mayor pertinencia social a la CyT en Estados Unidos, a partir de 1997 la NSF ha establecido el requisito que las propuestas para financiamiento de proyectos contemplen el criterio de “impactos más amplios” (*broader impacts*) de la investigación en la ciencia, educación y sociedad (Alpert, 2009, p. 167). Para cumplir con esta exigencia los investigadores tienen varias opciones: difundir ampliamente sus resultados, establecer estrategias de divulgación de su trabajo, ampliar la participación de grupos sociales sub-representados, ofrecer opciones de desarrollo profesional a profesores y jóvenes investigadores, mejorar la infraestructura para investigación y educación, así como explorar los aspectos sociales de sus actividades de investigación (Íbid).

En este contexto, la opción de divulgar el trabajo que realizan los investigadores ha sido ampliamente socorrida; toda vez que también les permite justificar los recursos recibidos y legitimar los temas tratados de cara a la sociedad. Pero esto no se ha hecho de forma aislada, sino que en muchos casos el criterio de “impactos más amplios” ha estimulado colaboraciones entre centros de investigación e instituciones de divulgación (sobre todo museos de ciencias); la idea central es que estas últimas aportan su experiencia en educación no formal y comunicación de la ciencia para enriquecer el conocimiento especializado de los investigadores (Íbid, p. 168). Así, los investigadores no deben dedicar tanto tiempo de trabajo a cumplir la obligación de divulgar, ni intentar realizar una tarea para la que no están preparados, y cuentan con espacios para realizar una divulgación de calidad con amplios sectores del público; mientras que los museos consiguen nuevos contenidos y recursos para consolidar su rol como espacios donde personas de todas las edades pueden aprender de los avances de vanguardia en CyT (Bell, 2009, p. 389).

Gracias a la “obligación” del criterio de impactos más amplios, durante los primeros 5 años de la NNI se desarrollaron múltiples estrategias de divulgación de NT, con colaboraciones de centros de investigación y museos. Y es que, en los primeros años de la NNI, el fuerte compromiso con la inversión en NT derivó en una especial preocupación por la percepción pública de las NT. A la luz de las experiencias con la biotecnología y los organismos modificados genéticamente; hubo una especie de “fobia a la nanofobia” (Rip citado por Joly y Kauffmann, 2008, p. 227). Desde un inicio la NNI contempló un apartado de aspectos sociales y comunicación pública de la ciencia, pero este compromiso se hizo manifiesto a una escala mayor -en enero de 2005- cuando

---

<sup>7</sup> Los recursos aplicados por otras agencias gubernamentales están más orientados al desarrollo de aplicaciones específicas para su campo de acción.

la NSF lanzó una convocatoria para un proyecto dedicado a desarrollar colaboraciones entre divulgadores e investigadores en ciencia e ingeniería a escala nano, para crear una red nacional capaz de promover la comprensión y el compromiso público con las NT (Vignone, 2013, pp. 105-106). Un apoyo de 20 millones de dólares, el más grande para un proyecto de divulgación en la historia de la NSF, fue otorgado a una coalición de museos de ciencias distribuidos en todo el país liderados por el Museo de Ciencias de Boston, y con el Exploratorium de San Francisco y el Museo de Ciencias de Minnesota como socios principales (Alpert, 2009, p. 278). Así fue que, a través de un acuerdo cooperativo de 5 años, se creó la *Nanoscale Informal Science Education Network* (NISE Net), proyecto que -con un nuevo apoyo de más de 20 millones de dólares- se renovó para 5 años más en 2010 (Chittenden, 2011, p. 1554; Vignone, 2013, p. 26; Scripps, 2013, p. 148).

El proyecto NISE Net promueve un conjunto de actividades diseñadas para “construir la capacidad de las instituciones de educación no formal y organizaciones de investigación para trabajar juntas, así como incorporar al público en el aprendizaje sobre ciencia, ingeniería y tecnología en la escala nano” (NISE Net, 2014). La NISE Net ha creado una serie de materiales -exposiciones, talleres, videos y libros- que comparte de forma libre a través de su sitio web y del sitio [www.whatisnano.org](http://www.whatisnano.org); además se han impulsado foros de compromiso público con las NT, especialmente a través del Museo de Ciencias de Boston. Hasta la fecha cientos de museos de ciencia y otras organizaciones de educación científica no formal han participado en las diferentes actividades de la NISE Net (Chittenden, 2011, p. 1554).

Una de las estrategias más exitosas de esta red ha sido el desarrollo de *NanoDays*, un kit de actividades recreativas que abordan los principios básicos de la CyT a escala nano (Vignone, 2013, p. 106) que fue diseñado para distribuirse y usarse en cientos de museos. Los kits de *NanoDays* incluyen todos los materiales para llevar a cabo las diferentes actividades, así como una guía que ofrece referencias a detalle para los divulgadores que usarán el material (Íbid, p. 107). Desde 2008 cada año se produce un nuevo kit de *NanoDays* con lo que en 2015, el último año en que se distribuirán, se habrán desarrollado un total de 8 kits que incluyen más de 50 actividades diferentes. Inicialmente el trabajo de *NanoDays* se centraba solo en los elementos técnicos de las NT pero a partir de 2011 se empezaron a incluir aspectos sociales y éticos de este sistema científico-tecnológico (Vignone, 2013, pp. 146-152).

Aunado a esto, gracias a los recursos de la renovación del financiamiento de la NSF, la NISE net creó la exposición interactiva “Nano” (Scripps, 2013, p. 148). Esta exposición se desarrolló en el *Sciencenter* de Ithaca y fue probada entre 2011 y 2012 en varios museos de la red. A partir

de una exitosa aplicación inicial se decidió una distribución a gran escala de Nano, que hasta la fecha cuenta con 90 copias de la exposición en museos de Estados Unidos.

Cabe resaltar que el trabajo de NanoDays y Nano resulta atípico para la dinámica de los museos de ciencias, o diríamos para su mirada esencialmente comercial de la divulgación, los cuales normalmente crean contenidos para exhibirlos en sus instituciones y posteriormente rentarlos como una estrategia para generar ingresos (Vignone, 2013, p. 19). Pero en el caso de la NISE Net los diferentes materiales se distribuyen de forma esencialmente gratuita y no solo para Estados Unidos, en el sitio web de la red se ofrece de forma libre -con una licencia de *creative commons*- la información para replicar las actividades.

Paralelamente al trabajo de NISE Net, la *National Nanotechnology Infrastructure Network* (NNIN) ha desarrollado una serie de programas de divulgación vinculados a centros de investigación. Se trata de una organización integrada por centros avanzados de NT en 14 grandes universidades y financiada por la NSF (NNIN, 2014), que se ha involucrado en actividades de divulgación en gran medida gracias al programa de “impactos más amplios”. La NNIN ha promovido actividades de divulgación como la exposición “It’s a Nano world”, la revista “Nanooze” y la exposición interactiva del mismo nombre (<http://nanooze.org/>), así como la creación de un manual de talleres demostrativos para abordar las NT, el museo móvil “Nanoexpress” y una serie de talleres locales en sus diferentes sedes. Así, aunque la NNIN tiene su razón de ser en actividades de investigación, la gran cantidad de recursos a su disposición -humanos, de infraestructura y financieros- le han permitido ubicarse como una institución de gran trascendencia para la divulgación de NT a escala nacional.

Aunado a estos esfuerzos de coordinación nacional que se desprenden de la NNI, a través de la NSF; existen numerosas estrategias independientes de divulgación de NT en Estados Unidos: desde esfuerzos de centros académicos hasta actividades individuales. En total, al sumar el resultado de esfuerzos coordinados y proyectos independientes, se han identificado 52 estrategias de divulgación en Estados Unidos para el periodo que comprende el estudio: 25 libros, 18 exposiciones y talleres, y 9 documentales en youtube.

#### **4.2 España: avance de abajo hacia arriba.**

En 2014 España se ubicó en el lugar 15 a nivel mundial en cuanto a inversión en actividades de I+D, con 18 mil millones de dólares (Grueber y Studt, 2013, p. 7), la posición y la inversión de este país pueden no parecer

muy relevantes -especialmente en el contexto de la Unión Europea- pero debemos recordar que la formación del sistema nacional de innovación español es un fenómeno relativamente reciente.

Históricamente el imperio español, como evidencia su dominio de América Latina entre el siglo XVI y el siglo XIX, se caracterizó por un extractivismo rentista en que prevaleció la indiferencia, el desdén y hasta hostilidad hacia el método científico de exploración, curiosidad y verificación (Cypher y Pérez, 2013, p. 108). Incluso Jaguaribe (2011, p. 115) señala que la cultura ibérica de la época era ajena a la CyT en virtud de que se encontraba “enclaustrada en una ortodoxia tradicionalista y medievalizante”, tendencia que condujo a una falta de tradición científico-tecnológica en España.

Muñoz (2001, p. 359) indica que el periodo de ilustración español, ocurrido a finales del siglo XIX e inicios del XX, se vio cortado por la Guerra Civil que condujo a la instauración del régimen autocrático que durante varias décadas aisló a España de las tendencias mundiales. En la época de la dictadura de Francisco Franco, de 1939 a 1975, hubo muy poca preocupación por asignar recursos para las actividades de I+D y se tenía un endeble entramado de relaciones de instituciones y empresas dedicadas a la creación de conocimiento (Buesa, 2003, p. 4).

El propio Buesa (Íbid) señala que la formación de un sistema nacional de innovación en España se presentó en el periodo comprendido entre 1978 y 2003, con la creación de nuevos organismos de investigación y también nuevas Universidades, con mayor interés y mejores recursos para la investigación; además, las empresas innovadoras han crecido cualitativa y cuantitativamente, así como sus vínculos con otras organizaciones trascendentes para el proceso de innovación. Aunque los indicadores de CyT (Banco Mundial, 2014) ubican el sistema español como un caso débil, al encontrarse en los últimos lugares de la Unión Europea en inversión en I+D como porcentaje del PIB y apenas en la media en cuanto a investigadores por millón de personas, se trabajó con fuerza en los primeros años del siglo XXI para alcanzar a los países avanzados en los indicadores de CyT (Torres-Albero et al., 2011, p. 23); especialmente a través de un incremento sostenido en la inversión nacional en actividades de I+D (Muñoz, 2001, p. 362). Sin embargo, ante los efectos de la crisis económica mundial desatada en 2008, en años recientes estos avances se vieron frenados e incluso se presentó un retroceso en algunos indicadores.

España encontró en las NT una ventana de oportunidad para aprovechar ventajas estratégicas locales para subirse a la ola de este nuevo sistema científico-tecnológico; hasta finales de la década pasada se ubicaba como el séptimo país en términos de producción científica en NT a nivel mundial (OEI, 2009). Esta trascendencia se

explica, en parte, por el acceso temprano que tuvieron los grupos de investigación españoles, desde 1983-1984, a los microscopios de proximidad (STM y AFM); de esta manera se formó una importante escuela de microscopistas en la Universidad Autónoma de Madrid -una de las primeras a nivel mundial- que sirvió como núcleo para la creación de nuevos centros de investigación e incubadora de empresas en NT (Serena y Tutor, 2011, pp. 48-49).

Aunado a esto la capacidad española se ha visto fortalecida por la organización de los investigadores en redes como la Red Nanociencia y la Red NanoSpain, la cual actualmente cuenta con más de 310 grupos inscritos y sirvió de catalizador ante el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología, para darle trascendencia a las NT dentro del Plan Nacional de I+D+i en sus ediciones 2004-2007 y 2008-2011 (Serena, 2014). No existe mucha información sobre la inversión española en NT en los años recientes, el único dato confiable lo ofrecen Chacón et al. (2011, p. 28) para el periodo comprendido entre 2004 y 2008, en que se invirtió un total de 324 millones de euros (mde). Los mismos autores (Íbid, p. 30) identificaron 69 empresas que trabajan con NT, más de la mitad de las cuales fueron creadas en el periodo entre 2005 y 2011, y los sectores más destacados en que están involucradas son “salud y biotecnología” y “nanomateriales”.

Sin embargo el importante avance en las actividades de I+D, así como la elaboración de estrategias nacionales al respecto, no se reflejó en un trabajo sistemático respecto a la divulgación de la CyT en general ni para el caso de las NT en particular. España cuenta con la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT), institución pública creada en 2001 y que tiene a su cargo las estrategias de divulgación de la CyT a través del Programa Nacional de Cultura Científica (<http://www.fecyt.es/>). Sin embargo, a pesar de la trascendencia del trabajo de la FECYT, el patrón general de la divulgación en España se caracteriza por un bajo nivel de continuidad y de profesionalización (Torres-Alberro et al., 2011, p. 23); y es que, como señala Gómez (2012, p. 192): “A la hora de divulgar tampoco ha habido una tradición entre los científicos españoles ni incentivos para que se dediquen a ello.”

En contraste con el repunte español en cuanto al avance de sus publicaciones científicas, los datos de estudios realizados por la Comisión Europea muestran que el nivel de cultura científica de la sociedad española se encuentra entre los más bajos de Europa (Gómez, 2013, p. 7). Para el caso específico de las NT en 2010 se encontró el 67% de los españoles desconocían por completo qué era este tema (Íbid, p. 25), pero esto no quiere decir que el resto estuviera bien informado al

respecto sino que afirmó que al menos ha escuchado algo sobre el tema. La principal acción de divulgación a gran escala en España no surge de un esfuerzo endógeno, sino que se inserta en el programa NanOpinión (<http://nanopinion.eu/>) que promueve la Unión Europea para impulsar procesos de compromiso público en el desarrollo de las NT.

La FECYT solo ha emprendido una estrategia para la divulgación de las NT: la elaboración de la Unidad Didáctica de Nanociencia y Nanotecnología (2008), pero no se ha realizado hasta el momento ningún esfuerzo para articular el trabajo de divulgadores e investigadores a escala nacional. “Las iniciativas de divulgación de la nanotecnología en España han sido escasas, esporádicas, y fruto de las iniciativas de un grupo entusiasta de personas que han actuado con generosa iniciativa pero con poca coordinación y poco apoyo desde las distintas instituciones.” (Serena y Tutor, 2011, p. 50)

Como caso particular es preciso destacar la labor de Pedro Serena, del Instituto de Ciencia de Materiales en Madrid, quien ha participado en la publicación de tres libros de divulgación de las NT, promovió la creación de la exposición “Un paseo por el nanomundo”, desarrolló el taller “Explorando el nanomundo” y fue el líder de la serie de documentales “¿Qué sabemos de nanotecnología?”, realizados de forma conjunta por el CSIC y la Universidad Nacional de Educación a distancia.

El único esfuerzo de coordinación de actividades fue promovido por la iniciativa de dos investigadores, Joaquín Tutor y el propio Pedro Serena, y tiene una orientación más internacional. Con el apoyo del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), en 2010 se iniciaron los trabajos para crear la *Red “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología* (NANODYF) con el objetivo de propiciar la cooperación entre grupos con interés en el tema a nivel iberoamericano. NANODYF se coordina desde España y tiene presencia en otros 10 países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, México, Perú, Portugal y Venezuela (<http://www.nanodyf.org>). Hasta la fecha la Red ha realizado 5 eventos internacionales y publicado un libro que busca servir como referente para la divulgación de NT en iberoamérica. A pesar de que NANODYF es una red que manifiesta dedicarse al tema de divulgación, construida en base a investigadores en NT interesados por divulgar, hace falta buscar a través de ella una convergencia entre especialistas en NT y expertos en divulgación.

Para el periodo comprendido en el estudio en España se identificaron 16 estrategias de divulgación de las NT en los medios seleccionados: 10 libros, 4 exposiciones/talleres y 2 documentales disponibles en youtube. Cabe señalar que uno de los documentales corresponde a una serie completa de programas sobre

nanotecnologías, el cual representa una estrategia de alto alcance por su transmisión a través de internet y en Televisión Española.

#### **4.3 México: un rumbo incierto.**

La situación mexicana en ciencia, tecnología e innovación muestra una realidad muy complicada: el país se ubicó en el lugar 25 a nivel mundial en inversión en I+D con 8 mil millones de dólares en 2014 (Grueber y Studt, 2013, p. 7), aunado a esto se encuentra el hecho de que -pese a ligeros incrementos en la inversión de los últimos años- esta inversión aún no se acerca siquiera al 1% del PIB y que -de acuerdo a datos del Banco Mundial (2014)- México ocupa el lugar número 63 a nivel mundial en investigadores por cada millón de personas.

Dentro de estas pobres cifras, la estrategia mexicana en ciencia, tecnología e innovación tiene el problema de un fuerte sesgo hacia la creación de capacidades de investigación básica, en detrimento del desarrollo tecnológico, y aún en este contexto la capacidad nacional sigue siendo limitada en relación al peso de México en la economía mundial (Crespi y Dutrénit, 2014, p. 41). La infraestructura para la investigación sigue siendo muy limitada, con un número reducido de investigadores muy productivos y muy poca participación del sector privado en las actividades de I+D (Íbid).

De esta manera la brecha de las capacidades mexicanas en CyT respecto a las naciones que se encuentran en la vanguardia es cada vez mayor y el poco avance tecnológico local depende de tecnología importada incorporada en maquinaria y equipo (Cypher y Pérez, 2013, p. 122). Se presentan entonces problemas fundamentales para el desarrollo de lo que se podría denominar un sistema de innovación propiamente dicho; Cypher y Pérez (Íbid, p. 126) -con base en el trabajo de Dutrénit y colaboradores (2010)- establecen 4 fallas sistémicas que impiden la construcción de un sistema nacional de innovación viable en México:

- 1) Infraestructura insuficiente en lo referente al abasto de energía, las instalaciones de prueba, el sistema de educación y entrenamiento y el equipamiento científico y tecnológico.
- 2) Escasez e inadecuada asignación de recursos.

3) Políticas horizontales que asumen que existen condiciones para procesos virtuosos que mejoren las capacidades tecnológicas, mientras las empresas en realidad dependen de forma creciente de tecnología importada.

4) Débiles, o inexistentes, relaciones complementarias entre empresas, universidades, agencias de gobierno y centros públicos de investigación. Este último punto resulta en última instancia la causa de una baja capacidad innovadora, y una escasa propensión a establecer acuerdos en base al interés colectivo y objetivos sociales (Casas et al., 2013, pp. 52-54)

A pesar de la situación de un sistema de innovación trunco, con escasa vocación para el desarrollo tecnológico, México intenta alinearse con las recomendaciones de los organismos internacionales de apostar a las NT como agentes de competitividad; sin embargo esto se realiza sin una estrategia clara y con recursos paupérrimos para los estándares mundiales (Záyago y Foladori, 2010, p. 150). La política mexicana en materia de NT está plagada de buenas intenciones pero no existe una verdadera estrategia rectora nacional:

"El interés por desarrollar la nanotecnología en México se expresó a partir de 2001 en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (pecyt) 2001-2006. En este plan se expone la nanotecnología como una tecnología estratégica y con un potencial de desarrollo importante (...) No obstante, hasta la fecha no existe una iniciativa nacional o un plan nacional de nanotecnología. Tampoco hay una oficina o consejo administrativo que marque los objetivos y dirección que la nanotecnología debe seguir de acuerdo con el contexto de México." (Záyago y Foladori, 2010, p. 151)

Entre las pocas acciones que se han promovido, en 2009 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) contribuyó a la creación de una red para conectar a los más de 50 centros de investigación en NT del país (Foladori e Invernizzi, 2013, p. 36). A pesar de que esta red pareciera un instrumento importante para fomentar y articular la investigación mexicana en NT, así como promover vínculos con el sector privado, el trabajo de (Záyago et al., 2014) nos sugiere que hasta la fecha esto no ocurre, ya que:

- a) Hay muy poca participación privada en la producción científica en NT.
- b) Las publicaciones mexicanas en NT se concentran en muy pocas universidades y centros de investigación.
- c) Hay una concentración geográfica de producción científica en NT en la parte central y norte del país, mientras que el sur prácticamente no tiene presencia en este sentido.

En lo referente a inversión pública para promover el avance local de este sistema científico-tecnológico, no existen cifras oficiales pero -a partir de estimados de diferentes autores- Záyago y colaboradores (2014, p. 4) indican que entre 1998 y 2010 el gobierno mexicano invirtió 74.4

millones de dólares en el tema. Esta cifra se muestra muy baja ante los 12,565.5 millones de dólares invertidos por Estados Unidos entre 2001 y 2010, o incluso ante los 435 millones de dólares que invirtió España entre 2004 y 2008.

Y así como no existe una estrategia definida para la investigación en NT, tampoco se cuenta con un esfuerzo sistemático de divulgación del tema. De hecho, a pesar de una tradición de varias décadas en divulgación de la CyT -sobre todo en la Universidad Nacional Autónoma de México y la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica- México no cuenta con un plan nacional que -como política pública- oriente el desarrollo de este tipo de actividades a través de acciones estratégicas.

El CONACYT lleva a cabo programas de divulgación -como la publicación de la revista “Ciencia y Desarrollo” o la realización de la “Semana Nacional de Ciencia y Tecnología”- pero estos carecen de la planeación y articulación necesarias para lograr un enfoque sistémico. Las diferentes estrategias de divulgación a nivel nacional se encuentran aisladas entre sí, dificultando la construcción de sinergias capaces de potenciar la comprensión pública de la ciencia en México.

La “Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología” (ENPECYT 2011) indica que 61.4% de los mexicanos se encuentran escasamente informados en materia de CyT, el 31% están moderadamente informados y solo el 7.7% de las personas se consideran bien informadas (CONACYT, 2014, P. 38). Hace falta realizar mucho trabajo para acercar a la sociedad mexicana a los niveles de cultura científica necesarios para fomentar una discusión sobre sistemas científico-tecnológicos emergentes.

A partir de 2012 se instituyeron dos fondos especiales, con recursos federales, para financiar actividades de divulgación: el primero orientado a financiar las estrategias de los 32 consejos estatales de CyT (Sánchez-Mora et al., 2014, p. 5) y el segundo distribuye recursos a través de una convocatoria para proyectos multidisciplinarios de divulgación de la CyT. En ambos casos se han asignado recursos de forma anual durante los últimos tres años por un total 180 millones de pesos (aproximadamente 13.5 millones de dólares). En este contexto se tienen ubicados dos proyectos apoyados por la convocatoria 2012 y que incluyeron actividades de divulgación de NT: uno a cargo de Noboru Takeuchi del Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de la UNAM en Ensenada y el otro bajo la responsabilidad de Bertha Michel Sandoval, del Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

A pesar de iniciativas recientes para formar redes de divulgación de NT en México, en general los esfuerzos en este tema parten de iniciativas aisladas por parte de investigadores y centros académicos; destaca

en este sentido el trabajo de “Ciencia Pumita”, del ya referido Noboru Takeuchi, que ha publicado una serie de libros y documentales.

Sin embargo uno de los episodios más notables para la percepción de NT en México no tuvo nada que ver con estrategias de divulgación: el 8 de agosto de 2011 un paquete bomba explotó en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México, lesionando a los doctores Alejandro Aceves y Armando Herrera. Un día después el grupo extremista autodenominado “Individualidades tendiendo a lo salvaje” dio a conocer en internet un comunicado en que se atribuyó el ataque y señaló que Herrera era su objetivo por su participación como director de transferencia tecnológica en esa institución, una de las grandes universidades que han apostado al desarrollo de las NT (Phillips, 2012, p. 577). En su documento el grupo habló del riesgo de que las NT pudieran causar daño ambiental, llamó a frenar el avance de estas tecnologías y amenazó con nuevos ataques a diferentes instituciones e investigadores (Íbid). Desde entonces no han vuelto a presentarse ataques pero se trató de sucesos que momentáneamente pusieron el tema de NT en México en la discusión pública, y desataron una fuerte preocupación en la comunidad nacional de investigadores del tema.

En todo caso, desde el gobierno no se han instrumentado estrategias específicas de divulgación de NT. Se dejó este aspecto a la iniciativa de investigadores y divulgadores interesados pero sin establecer ningún tipo de estímulo. En el periodo seleccionado por el estudio, México cuenta con 14 estrategias de divulgación de NT, que incluyen 5 libros, 3 exposiciones/talleres y 6 documentales en youtube.

### **Selección de estrategias para el estudio.**

A partir del panorama general que hemos presentado de los tres países podemos identificar ciertos elementos clave para la situación de la divulgación de NT: la existencia de un plan nacional que guíe las actividades de I+D relacionadas con NT, la aplicación de políticas nacionales para la divulgación de la CyT, el desarrollo de programas nacionales para la divulgación de NT y, finalmente, el desarrollo de actividades de divulgación fuera de un plan nacional. En la tabla 4.6 hemos reunido estos factores para ofrecer una perspectiva de la situación de los tres países contemplados por el estudio:

**Tabla 4.8 Contexto de divulgación de NT en España, Estados Unidos y México**

País	Plan Nacional para avance de NT	Políticas Nacionales de Divulgación	Programa Nacional de Divulgación NT	Divulgación de NT sin coordinación
España	Plan conjunto de Red NanoSpain y CSIC: 2005-2011	Sí, se aplican a través de la FECYT	No existe	Varias estrategias
Estados Unidos	NNI: 2001-2015	Sí, las aplica la NSF	Sí, la NISE Net y en parte la NNIN	Varias estrategias
México	No existe	No, solo programas aislados de CONACYT	No existe	Varias estrategias

Fuente: Elaboración propia

En base a este bosquejo se realizó un sondeo exhaustivo de las estrategias de divulgación de NT que se hicieron públicas entre 2000 y 2013, a través de los tres medios elegidos para el estudio: libros, exposiciones/talleres y videos documentales disponibles a través del portal de internet *youtube*. Se identificaron un total de 85 estrategias de divulgación que se caracterizan en la tabla 4.9.

De este universo se seleccionaron aquellas creadas a partir de una red de colaboración entre varias organizaciones, que cuentan con algún tipo de apoyo gubernamental o promueven una visión más amplia para la participación social en NT. De esta manera se establecieron 50 estrategias de divulgación que fueron analizadas a lo largo del proceso de investigación: 9 de España (4 libros, 3 exposiciones/talleres y 2 documentales), 30 de Estados Unidos (15 libros, 8 exposiciones/talleres y 7 documentales), y 11 de México (5 libros, 2 exposiciones/talleres y 4 documentales).

**Tabla 4.9 Estrategias de divulgación identificadas en los 3 países en los medios seleccionados**

País	Libros	Exposiciones/Talleres	Documentales	Total
Estados Unidos	25	18	9	52
España	10	4	2	16
México	8	3	6	17
	43	25	17	85

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 4.10, se ofrece la relación de estrategias seleccionadas junto con algunos elementos de referencia para contar con un panorama inicial de su contexto general. Para esto se incluyen 5 datos básicos que nos permiten una primera aproximación a su contexto: título de la estrategia, nombre del autor o líder

del proyecto (en los casos en que se identificó uno), institución que respaldó la actividad, medio de divulgación usado y país del que procede el esfuerzo.

**Tabla 4.10 Estrategias de divulgación analizadas en el presente trabajo**

Nombre	Autor/Líder	Institución	Medio	País
Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea	Mark Ratner / Daniel Ratner	---	Libro	EE.UU.
Understanding Nanotechnology	Scientific American	Scientific American	Libro	EE.UU.
Nanocosm	William Illsey Atkinson	---	Libro	EE.UU.
Nanofuture: what's next for nanotechnology?	Josh Storrs Hall	---	Libro	EE.UU.
Nanotechnology for dummies	Booker y Boysen	---	Libro	EE.UU.
Nanotechnology. Science, innovation and opportunity	Lynn Foster (Coordinador)	---	Libro	EE.UU.
Nanotechnology: new promises, new dangers	Toby Shelley	---	Libro	EE.UU.
Nanotechnology (Cool science)	Rebecca Johnson	---	Libro	EE.UU.
How small is nano?	McCarthy et al.	NISE Net	Libro	EE.UU.
Isthat robot real?	McCarthy et al.	NISE Net	Libro	EE.UU.
Nanociencia y nanotecnología.	José Ángel Martin Gago	Fundación Española de Ciencia y Tecnología	Libro	España
Nanotechnology: balancing the promises	Saldaña y Puentes	Nanowiki.org	Libro	España
Essentials of nanotechnology	Jeremy Ramsden	---	Libro	EE.UU.
Nanociencia y nanotecnología.	Noboru Taekeuchi	Fondo de Cultura Económica	Libro	México
La nanociencia	Pedro Serena Domingo	---	Libro	España
Una revolución en miniatura	Amador Menéndez Velázquez	---	Libro	España
Alice in nanoland	Horton y Long	NISE Net	Libro	EE.UU.
El pequeño e increíble nanomundo	Noboru Takeuchi	Ciencia Pumita, UNAM	Libro	México
Radical Abundance	Eric Drexler	Foresight Institute	Libro	EE.UU.
Understanding de nanotechnology revolution	Wolf y Medikonda	---	Libro	EE.UU.
Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de la nanotecnología en América Latina y el Caribe	Foladori e Invernizzi	Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad	Libro	México
Los materiales nanoestructurados	Morán y Rodríguez	Fondo de Cultura Económica	Libro	México

Nanotechnology: the whole story	Rogers et al.	---	Libro	EE.UU.
Hablemos de nanociencia	Noboru Takeuchi	Ciencia Pumita, UNAM	Libro	México
NanoDays 2009	NISE Net	NISE Net	Expo/Taller	EE.UU.
NanoDays 2010	NISE Net	NISE Net	Expo/Taller	EE.UU.
Nano	Rae Osman, NISE Net	NISE Net	Expo/Taller	EE.UU.
Nanotechnology outreach demonstrations	Healy y Palmer	National Nanotechnology Infrastructure Network (NNIN)	Expo/Taller	EE.UU.
Zoom into nano	Cornell U. / Sciencenter	Cornell University y Sciencenter	Expo/Taller	EE.UU.
Dimensió Nano	Boaz Kogon	Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología	Expo/Taller	España
Nanoestación	Patricia Barciela	Museos Científicos Coruñenses	Expo/Taller	España
Nanotechnology activities	NRSEC UWM	University of Winsconsin Madison	Expo/Taller	EE.UU.
Nanofabulous	University of Maryland	University of Maryland	Expo/Taller	EE.UU.
Hacia lo imperceptible	Museo Laberinto de las Ciencias y las Artes	Museo Laberinto de las Ciencias y las Artes	Expo/Taller	México
Explorando el nanomundo	Pedro Serena	Consejo Superior de Investigación Científica	Expo/Taller	España
Caja de aventuras científicas	Bertha Michel	Grupo Quark y Museo de Ciencias UAZ	Expo/Taller	México
Matter Factory	Children Museum of Houston	Children Museum of Houston	Expo/Taller	EE.UU.
Nanotecnología (Odisea Channel)	Odisea Channel	Odisea Channel	Video	España
Nanotechnology takes off	KQED Public TV	KQED Public TV	Video	EE.UU.
Introduction to nanotechnology	Kavli Foundation	Kavli Foundation	Video	EE.UU.
¿Qué es la nanotecnología?	UNAM	UNAM	Video	México
Nanotechnology: what's the big deal?	NISE Net	NISE Net	Video	EE.UU.
Degrees that work: Nanotechnology	Pennsylvania College of Technology	Pennsylvania College of Technology	Video	EE.UU.
El pequeño e increíble Nanomundo	Noboru Takeuchi	Ciencia Pumita, UNAM	Video	México
Nanociencia y nanotecnología	Noboru Takeuchi	Ciencia Pumita, UNAM	Video	México
Nanotechnology applications	NRSEC UWM	University of Winsconsin Madison	Video	EE.UU.
¿Qué sabemos de nanotecnología?	Pedro Serena	Consejo Superior de Investigación Científica	Video	España
A boy and his atom	IBM	IBM	Video	EE.UU.
Power of nanotechnology	Tech News	Tech News	Video	EE.UU.
Nanotecnología. Actualidad y futuro	Alicia Gómez Méndez	---	Video	México

Fuente: Elaboración propia

La selección de las estrategias buscó contar con estrategias representativas del trabajo que se lleva a cabo en los tres países contemplados por el estudio, respetando la proporción entre la cantidad y diversidad del trabajo en las naciones y medios seleccionados. Existen algunos casos excepcionales de estrategias que se incluyeron en el estudio sin cumplir totalmente con los criterios de selección, esto se debe a que fueron acciones con un gran alcance público (como los videos de IBM y Tech News) o porque crearon productos extraordinarios en tanto a la forma de abordar el tema (como el libro de Toby Shelley).

Tras analizar cada una de las estrategias para construir un perfil cualitativo de los productos, la información recabada se registró en una descripción particular para cada caso y además se capturó en la matriz a través de elementos de contexto, forma y contenido. De esta manera se logró ubicar ciertas tendencias de los elementos que la divulgación ofrece para la participación de las diferentes organizaciones y sectores del público en la construcción social de las NT.

Cabe señalar que el análisis no se limitó al estudio de los materiales de divulgación, en todos los casos en que fue posible se realizaron entrevistas directas con diferentes líderes y colaboradores de las estrategias en cuestión: Noboru Takeuchi del centro de Nanociencias y Nanotecnologías de la UNAM en Ensenada (México); Pedro Serena del Instituto de Investigación en Materiales en Madrid (España); Ali Jackson, Catherine McCarthy, Kevin Dilley y Larry Bell de la NISE Net (Estados Unidos). Así mismo se realizó una visita al Centro de Nanotecnología de la Universidad de Cornell, que forma parte de la NNIN, y se hicieron estancias cortas en el *Sciencenter* en Ithaca, N.Y., y el Museo de Ciencias de Boston, lugares donde se desarrollaron y probaron, respectivamente, la exposición “Nano” y los talleres de “NanoDays”. En el resto de las estrategias se contactó de forma electrónica a los líderes de los proyectos para acceder a la información necesaria y en los casos que no hubo respuesta se recurrió a la investigación por fuentes indirectas.

Al concluir este proceso a partir de la información recabada, con las entrevistas y el análisis de los diferentes materiales, se procedió al análisis de datos en la matriz para establecer las relaciones entre las características de las diferentes estrategias y las condiciones que ofrecen para la participación social en el avance de las NT.

## 5. Resultados

El presente apartado aborda a detalle el estudio realizado en las 50 estrategias de divulgación de NT seleccionadas en España, Estados Unidos y México. En primera instancia se ofrece un análisis cualitativo de los productos que surgieron de dichos proyectos; posteriormente esto se complementará con un análisis integral de las estrategias que los hicieron posibles a través de la matriz de caracterización. Aquí cabe aclarar que al hablar de estrategias nos referimos a los procesos detrás de la elaboración de una acción de divulgación, mientras que con producto hacemos mención del material, o la actividad, que sirve para establecer contacto con los diferentes sectores de público lego. Analizar una estrategia de divulgación implica tener presente el contexto -nacional, institucional y personal- que la hizo posible, la forma en que se desarrolló el proyecto y, obviamente, el producto que finalmente llega a la sociedad.

De entrada distribuimos los diferentes productos en función del medio de comunicación utilizado y se presentan en orden cronológico, de forma que sea más sencillo compararlos entre sí. Además de la descripción general de cada producto, con la idea de ofrecer ciertos parámetros, se hará referencia a varios aspectos que se abordaron apartados previos del presente trabajo: el modelo de divulgación utilizado (MD), el enfoque con que se aborda la información sobre NT (EF) y la mirada a la divulgación en que se inserta (MI). Además se indica en qué grado se abordan los aspectos técnicos (AT) y los aspectos sociales (AS) de las NT, el cual puede identificarse como nulo, bajo, medio o alto en función de la relevancia que se le asigne en el producto.

### Libros

**Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea. Mark Ratner y Daniel Ratner. Prentice Hall. México. 2002.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Texto publicado en un momento de auge para la inversión pública y privada en nanotecnologías en Estados Unidos y que, en consecuencia, buscó ofrecer un panorama técnico completo de la esencia de este sistema tecnológico. El objetivo se cumple en gran medida a través de un abordaje ágil y claro de las características extraordinarias de la manipulación de la materia a la escala de átomos y moléculas, así como las múltiples aplicaciones en que ésta se

puede aprovechar. Como muchos materiales en su momento se otorga una especial atención al aspecto de la inversión en nanotecnologías y casi se ofrecen consejos para proceder al respecto; lo que sí resalta respecto a otras acciones es un breve intento por abordar aspectos éticos del tema.

**Understanding Nanotechnology. Scientific American. Estados Unidos. 2002.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Compilación de artículos relacionados con nanotecnologías que aparecieron originalmente en las páginas de la revista de divulgación Scientific American entre 2000 y 2001. Los aportes vienen de múltiples, y reconocidos, científicos que trabajan en áreas relacionadas con las NT. Llama la atención la presencia de las posturas encontradas entre Drexler y Smalley, un debate que marco los primeros años de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en Estados Unidos. En general parece haber un sesgo hacia el panorama halagüeño con énfasis en las aplicaciones en electrónica y medicina.

**NanoCosm. William Illsey Atkinson. Estados Unidos. 2005.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Obra que constituye más un material de periodismo científico-tecnológico que de divulgación en un sentido tradicional: el autor se vale de experiencias propias y múltiples entrevistas para ofrecer un panorama tras bambalinas del trabajo de las nanotecnologías. El libro tiene un excelente manejo retórico de los enfoques y no se limita al trabajo de un lugar específico sino ofrecer una visión de qué se hace en diferentes países. Es claro el interés del autor por desterrar la idea de ensambladores moleculares de Drexler. Resalta la ausencia total del tema de riesgos.

**Nanofuture: What's next for nanotechnology? Josh Storrs Hall. Estados Unidos. 2005.**

**MD:** déficit. **EF:** utopía. **MI:** Propagandística. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Material futurista y utópico que defiende la esencia de las ideas de Eric Drexler, sobre la manufactura molecular, como la verdadera base para lo que deben ser las nanotecnologías. Parte de las ideas originales de Drexler, con la maquinaria bioquímica como inspiración para la ingeniería con precisión atómica. Las proyecciones de Hall usan

trayectorias tecnológicas bien establecidas para intentar predecir lo que ocurrirá con la ingeniería molecular en el futuro. Sin embargo no está clara la viabilidad social y económica de las maravillas descritas por el libro.

**Nanotechnology for dummies. Richard Booker y Earl Boysen. Estados Unidos. 2005.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Comercial. **AT:** alto. **AS:** medio.

Esta obra forma parte de la conocida serie que aborda temas técnicos con un enfoque para *dummies*, tontos en una traducción literal aunque legos sería una aproximación más cercana. A través de un lenguaje claro, aunque quizá por momentos demasiado ligero, se guía al lector por diferentes aspectos relacionados con nanotecnologías: se pone especial atención a lo que las nano pueden hacer en el futuro por las personas en aspectos como computación, telecomunicaciones, salud, materiales y energía. Destaca el esfuerzo por complementar con una visión social que incluye un pequeño abordaje del tema de riesgos y una discusión mucho más rica de los aspectos económicos asociados a las tecnologías emergentes.

**Nanotechnology. Science, Innovation and Opportunity. Lynn Foster. Estados Unidos. 2005.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Libro colectivo que, más que un texto tradicional de divulgación sobre el tema, es una especie de manual con aportes de diferentes actores -investigadores, inversionistas, funcionarios gubernamentales, etc.- que analizan el tema de nanotecnologías desde diferentes ángulos que van del potencial técnico en diferentes aspectos y las líneas actuales de trabajo, hasta la forma en que se desarrolla la investigación universitaria y gubernamental, así como la trascendencia de los mecanismos de propiedad intelectual para estos avances.

**Nanotechnology: new promises, new dangers. Toby Shelley. Zed Books. Estados Unidos. 2006.**

**MD:** déficit. **EF:** conflicto. **MI:** Sociopolítica. **AT:** medio. **AS:** alto.

Material extraordinario dentro de la literatura comercial sobre nanotecnologías: contrario a la tendencia general de abordar a detalle las maravillas que se pueden producir con la manipulación de átomos y moléculas, ofrece un panorama técnico básico para luego invitar al lector a observar los múltiples factores sociales que rodean a este importante sistema tecnológico emergente. No es casual que el libro sea escrito por alguien ajeno al mundo

científico-tecnológico, un periodista; la mirada es ajena a los intereses internos de la labor de investigación o a la simpatía inherente presente en muchos divulgadores. Se presenta un escenario de pugna entre centros de investigación, empresas (grandes y pequeñas), gobiernos, organizaciones civiles para -respectivamente- ser pioneros en descubrimientos de vanguardia, apropiarse de avances que permitan generar ganancias extraordinarias, proteger los intereses comerciales o la seguridad de los ciudadanos. Resalta el lugar central que se le asigna al tema de riesgos, en varios niveles como salud, ambiente y empleo. Libro único por su capacidad de romper con una visión plana, con cierto determinismo tecnológico, para mostrar la riqueza de interacciones sociales -y el peso de los grandes poderes- en la construcción social de las nanotecnologías.

**Nanotechnology (Cool Science). Rebecca L. Johnson. Estados Unidos. 2006.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

La discusión técnica se plantea de abajo hacia arriba, estableciendo elementos básicos sobre átomos y moléculas, para ofrecer un panorama de lo que ya se ha logrado hacer con el trabajo en nanotecnologías. Además la discusión se aventurarse a un poco de especulación sobre lo que podría lograrse a futuro si se siguen con avances actuales (como los nanotubos de carbono) o con ideas que aún no están establecidas materialmente, como los ensambladores moleculares.

**How small is nano?. NISE Net. Estados Unidos. 2008**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Libro centrado en el tema de la escala: usa diferentes aspectos familiares para vincular al público con objetos de diferentes tamaños, desde un metro hasta un nanómetro. Es notable el esfuerzo por apelar a las cosas que ya conocen los lectores para acercarlos a un sistema invisible como las NT. La estructura didáctica del material deja clara marca del trabajo de la NISE Net, haciéndolo muy semejante a otros materiales de esta red, y da la impresión que esta publicación está pensada como soporte para otras acciones de divulgación de las nanotecnologías.

**Is that robot real?. NISE Net. Estados Unidos. 2008**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Material que enriquece un texto ágil y ligero con atractivas imágenes orientadas a acercar al público infantil a las nanotecnologías a través de un tipo de aplicación que despierta mucho interés: los robots. Se inicia con un abordaje general de lo que son los robots para luego revisar la existencia y las funciones de robots de diferentes tamaños: desde el tamaño de un niño hasta la escala nano. Destacan dos puntos fundamentales sobre esta estrategia: el uso acertado de elementos familiares para el público para vincularlos con lo que se busca que aprendan y el abordaje de un debate abierto sobre la factibilidad futura de los nanobots.

**Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro. José Ángel Martín Gago (Coordinador). FECYT. España 2009.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** educativa. **AT:** alto. **AS:** medio.

El libro ofrece un panorama básico de los principales elementos técnicos asociados a las NT, el lenguaje usado es accesible y su principal virtud es que no se trata de un ejercicio tradicional de divulgación tipo déficit, se muestra evidencia de que sus autores se dieron a la tarea de realizar actividades en escuelas para hacer partícipes a los estudiantes en la construcción del libro. El material aborda de forma trascendente la investigación que se realiza en España. Cabe notar que cuenta con un apartado sobre las implicaciones sociales y riesgos de las NT.

**Nanotechnology: balancing the promises. Josep Saldaña y Víctor Puentes. España. 2009.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

forma parte de la serie de libros de Nanowiki para divulgar diferentes temas relacionados con las NT a través de publicaciones digitales en internet. Destaca que un trabajo de divulgación hecho en España por investigadores españoles se escribe en inglés, lo cual indica un esfuerzo orientado a la comunidad internacional más que a las personas en su país. El material busca establecer un balance entre ventajas y riesgos de las nanotecnologías para la salud humana pero falta señalar que son sectores sociales diferentes los que reciben los beneficios y los que asumen los riesgos, y su abordaje se inclina mucho más a los beneficios que a los efectos no deseados.

**Essentials of nanotechnology. Jeremy Ramsden. Estados Unidos. 2009.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Un libro muy bien estructurado para que personas con nivel de bachillerato puedan acceder a los aspectos más destacados de las nanotecnologías. Siempre manteniendo un enfoque cargado a lo técnico se abordan las motivaciones, ventajas y aplicaciones que justifican el trabajo en este campo. Al final del material se incluye un apartado de implicaciones que parecería orientado a abordar aspectos sociales del tema, pero sin embargo se queda en lo que parece una distinción entre ciudadanos tecnófilos, tecnófobos y moderados, que no profundiza el contexto que puede dar lugar a diferentes posturas ante un sistema tecnológico emergente.

**Nanociencia y Nanotecnología. La construcción de un mundo mejor átomo por átomo. Noboru Takeuchi. UNAM. México. 2009.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

El abordaje que se ofrece en este material es esencialmente de arriba hacia abajo en un doble sentido: arranca con la discusión de la física clásica -a nuestra escala- y luego ofrece un panorama de los principios cuánticos para abordar átomos, moléculas y aterrizar en las NT; luego, el proceso de comunicación se realiza esencialmente de en forma de déficit -del experto al lego- de forma lineal, con pocos vínculos cotidianos y procurando seguir un discurso optimista por completo, centrado en las ventajas actuales y potenciales de estos avances..

**La Nanotecnología. Pedro Serena Domingo. CSIC. España. 2010.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** alto. **AS:** medio.

Se ofrece una amena panorámica de las NT, con la virtud de incorporar una breve perspectiva histórica de eventos que condujeron a su desarrollo. Además plantea un panorama general de las principales áreas de trabajo actual en NT con ejemplos abundantes, y pertinentes. Al final ofrece una breve, pero sustanciosa, discusión sobre aspectos sociales y éticos de NT, con alguna atención al tema de riesgos y regulación.

**Una revolución en miniatura. Amador Menéndez Velázquez. España. 2010.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Ameno libro que usa elementos históricos de diferentes aspectos científicos y tecnológicos, que convergen en avances que actualmente se relacionan con las nanotecnologías. Resalta por elementos poco comunes como ofrecer clasificaciones de nanopartículas en base su origen o en función de sus dimensiones físicas. También resulta de especial interés su aporte sobre la biomimética como fuente de inspiración para las nanotecnologías.

**Alice in Nanoland. Leigha Horton y Stephanie Long. Estados Unidos. 2010.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** bajo. **AS:** nulo.

Texto dirigido al público infantil, de 4 a 7 años de edad, con una narrativa sencilla que se inspira en el cuento de “Alicia en el país de las maravillas” de Lewis Carroll para dar a conocer algunas de las principales características que hacen diferente el comportamiento de los materiales a escala nano, así como algunas de sus aplicaciones.

**El pequeño e increíble Nanomundo. Noboru Takeuchi y Marisol Romo. UNAM. México. 2011.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Libro para el público infantil, de 9 a 12 años, destaca por sus elementos gráficos y una narrativa basada en el diálogo entre los personajes principales. El material se refuerza por la inclusión de actividades complementarias que el lector puede realizar para darle una mayor certeza a algunos de los conceptos abordados. Aprovecha la idea de nano-robots para despertar morbo que sirve como eje para el abordaje de diferentes aspectos relacionados con las NT.

**Radical Abundance. Eric Drexler. Estados Unidos. 2012.**

**MD:** déficit. **EF:** utopía. **MI:** propagandística. **AT:** medio. **AS:** bajo.

Material centrado en la visión utópica de lo que pueden llegar a ser los avances de las NT y muy crítico de la desviación de las estrategias actuales en el tema respecto a la visión inicial Drexler. Se plantea la historia del concepto de NT en la idea de crear maquinaria molecular para fabricar cualquier tipo de artefactos. Drexler pone énfasis en la fabricación con precisión atómica en contraste con el “nuevo” concepto de enfocado en nanomateriales.

**Understanding the Nanotechnology Revolution. Edward Wolf y Manasa Medikonda. Estados Unidos. 2012.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Más que abordar una discusión específica sobre las nanotecnologías este documento ofrece un panorama de la física cuántica y sus aplicaciones. Si bien varias propiedades extraordinarias de la materia a nivel molecular surgen de fenómenos cuánticos, no necesariamente todos los aparatos que se basan en estos fenómenos se consideran nanotecnologías. En cuanto a lo que tradicionalmente se considera como nanotecnologías, se abordan solo algunos casos como los microscopios de proximidad, los nanotubos de carbono, el funcionamiento de biomoléculas y sobre todo dispositivos electrónicos.

**Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe.**

**Guillermo Foladori y Noella Invernizzi. México. 2012.**

**MD:** diálogo. **EF:** riesgo genérico. **MI:** Sociopolítica. **AT:** alto. **AS:** alto.

Libro atípico en la divulgación de las nanotecnologías: surge de la demanda de sindicatos y ONG's por saber más de este sistema científico-tecnológico -con sus ventajas y riesgos- en vez de crearse por el interés de un investigador por dar a conocer el tema o buscar un mayor respaldo para la investigación en NT. El material no pretende agotar la discusión sobre las implicaciones sociales de las nanotecnologías, más bien busca convertirse en piedra angular para el desarrollo de una rica discusión con diferentes agentes sociales.

**Los materiales nanoestructurados. José Luis Morán y José Luis Rodríguez. México. 2012.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Propagandística. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Documento pensado específicamente para divulgar el tema con sectores con cierta formación técnica: estudiantes de carreras científicas o investigadores con formación en áreas ajenas al tema de materiales nanoestructurados. La redacción es muy especializada para una persona común y busca llamar la atención sobre las diferentes ventajas que ofrecen algunos de los nuevos avances en la materia con la intención de despertar vocaciones (en los estudiantes) o propiciar colaboraciones (en los investigadores ya establecidos) hacia este campo.

**Nanotechnology: the whole story. Ben Rogers, Jesse Adams y Sumita Pennathur. Estados Unidos. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Para un libro que desde el título se presenta como la “historia completa” de las nanotecnologías el texto resulta una gran decepción, toda vez que no dedica ni el 10% del trabajo a un abordaje del contexto, los sucesos y las personas que dieron vida a este importante sistema científico-tecnológico. Lo que si realiza es un abordaje técnico exhaustivo de aspectos como miniaturización, las leyes físicas a escala nano, los nanomateriales, biotecnología y nanomedicina.

**Hablemos de Nanociencia. Noboru Takeuchi. México. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Texto que sirvió como punta de lanza para una serie de libros cortos sobre nanotecnologías, dirigidos al público infantil, que están escritos en español y diferentes lenguas indígenas. En este primer material se abordan elementos básicos de las nanotecnologías en español y náhuatl, la lengua indígena hablada por más personas en México. El lenguaje resulta accesible y el enfoque inicial es atractivo par atraer la atención de los jóvenes lectores.

### **Exposiciones y Talleres**

**NanoDays 2009. NISE Net. Estados Unidos. 2009**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Kit que comprende 8 dinámicas recreativas que se aplicaron en más de doscientos museos y centros de ciencias que colaboran con el evento Nano Days de la NISE Net. Las dinámicas incluyen talleres para dimensionar la escala nano, explorar el funcionamiento de los microscopios de proximidad y mostrar como el comportamiento de objetos del mismo material puede cambiar en diferentes tamaños, así como mostrar la importancia de las estructuras a la escala nano.

**NanoDays 2010. NISE Net. Estados Unidos. 2010**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Serie de actividades recreativas usadas en más de doscientos museos y centros de ciencias que colaboran con el evento Nano Days de la NISE Net. Las dinámicas incluyen talleres para caracterizar el tamaño nano, juegos simbólicos en que los participantes representan el comportamiento de moléculas o usan modelos para representar estructuras a escala nano, así como múltiples experiencias en que se identifican de forma práctica fenómenos derivados de cambio de escala.

**Nano. Rae Ostman y Ali Jackson (líderes). NISE Net. Estados Unidos. 2011.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** alto.

La exposición combina de manera efectiva el uso de módulos interactivos con cédulas progresivas -orientadas a detonar la reflexión del público a través de textos rotativos que plantean preguntas y permiten al visitante realizar hipótesis antes de ver las respuestas. Además de su alcance, al ser distribuida en más de 90 centros de ciencias en Estados Unidos, destaca en este caso la versatilidad del arreglo de exhibiciones para su exposición, y -sobre todo- la incorporación de aspectos sociales de las NT.

**Nanotechnology outreach demonstrations. Nancy Healy y Joyce Palmer. NNIN. Estados Unidos. 2011.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Conjunto de demostraciones que se usan en las visitas de grupos escolares a los centros de investigación de la NNIN. Sirve como reflejo de las actividades en las visitas y como manual de referencia para que profesores puedan replicar algunas de las demostraciones. Se muestra un fuerte sesgo hacia el discurso paradigmático centrado en lo técnico, aunque tiene una actividad sobre aspectos sociales y manejo de riesgos.

**Zoom into Nano. Carl Batt (Líder). Cornell University y Sciencenter. Estados Unidos. 2011**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Exposición interactiva para museos en el sentido clásico del concepto: las exhibiciones están diseñadas para permitir la manipulación de los aparatos sin necesidad de la intervención de mediadores. Se notan las ideas de Carl Batt con un enfoque centrado en las ideas de que todas las cosas están hechas de átomos, los cuales con sus estructuras dan lugar a las propiedades macroscópicas de los materiales. Combina de forma interesante representaciones gráficas en pantallas con estructuras a escala que permiten tocar los modelos de moléculas. Esta exposición fue presentada en múltiples sedes, entre ellas el Epcot Center de Disneyworld, en las que recibió más de 5 millones de visitantes.

**Dimensió Nano. Boaz Kogon (líder). Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología. España. 2012.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

La exposición fue abierta al público en el *Museu de la Ciència i la Tècnica de Catalunya*, ofreciendo una visión general de los elementos técnicos -tamaño, interdisciplina, microscopía, manipulación atómica, fotónica, espintrónica- asociados a las NT, así como sus principales aplicaciones -radiación solar, nanomedicina, nanomateriales (naturales y sintéticos) y productos de consumo. La mayor parte de la información se encuentra en cédulas, mientras los interactivos sirven como refuerzo vivencial para los visitantes.

**Nanoestación. Museos Científicos Coruñenses. Patricia Barciela. España. 2012**

**MD:** compromiso público. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** medio.

Estrategia promovida desde un centro de divulgación en La Coruña pero que se inserta en el programa más amplio NanOpinion, de la Unión Europea: una acción que busca dar a conocer las nanotecnologías pero también recabar información sobre lo que la sociedad piensa y espera de ellas. Esta participación en un programa de gran escala que terminó por emitir recomendaciones para la política pública lo convierte en la única estrategia de divulgación tipo compromiso público en este estudio. Las actividades de Nanoestación incluyen múltiples experimentos para observar propiedades extraordinarias de diferentes materiales, desde el oro hasta la leche y la gelatina, originadas en fenómenos a escala nano; además se realiza una dinámica lúdica en que se dan a conocer diferentes puntos de vista respecto a las nanotecnologías y se busca estimular a los participantes para que construyan y compartan su propia opinión al respecto.

### **Nanotechnology Activities. MRESC University of Winsconsin-Madison. Estados Unidos. 2012**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** medio.

Catálogo de actividades diseñadas para realizarse como talleres de ciencia recreativa; se han promovido para realizarse en salones de clases del estado de Winsconsin pero también se encuentran disponibles en línea los manuales para que puedan ser replicadas en cualquier lugar. El esfuerzo nace en el Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Winsconsin-Madison y se nota la presencia de las líneas de investigación de ese centro en las actividades, pero también hay influencia de colaboración con estudiosos en comunicación de la ciencia de la misma universidad y con el Centro de Nanotecnología y Sociedad de la Universidad Estatal de Arizona (*Arizona State University*). Con todo esto se logra un interesante balance entre el abordaje técnico y social del tema, con lo que se ofrece una perspectiva más completa de lo que implican las nanotecnologías.

### **Nanofabulous. University of Maryland y Port Discovery Museum. Estados Unidos. 2012**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Las exhibiciones de esta estrategia tienen tres ejes esenciales: dar a conocer la escala en la que trabajan las nanotecnologías, abordar la forma en que se exploran los materiales a escala nano y llevar a sus visitantes al ambiente en que se trabaja en una habitación limpia (*cleanroom*) en que se realiza investigación de vanguardia en nanotecnologías. Destaca el hecho de que múltiples aparatos se dedican a la comprensión de la microscopía a escala nano desde diferentes perspectivas.

### **Hacia lo imperceptible. Museo Laberinto de las Ciencias y las Artes. México. 2012.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Artístico-cultural. **AT:** alto. **AS:** bajo.

El eje fundamental de la exhibición se encuentra en el estudio de muestras en microscopios ópticos y electrónicos, pero para complementar se utilizan actividades del kit NanoDays 2012 de la NISE Net. Las actividades recreativas no son originales, pero se trata de uno de los pocos talleres de nanotecnologías en México. Las actividades incluyen

múltiples demostraciones de las propiedades extraordinarias de la materia a escala nano y algunos juegos simbólicos para ubicar la escala del tamaño de los nanómetros.

**Explorando el Nanomundo. Pedro Serena. CSIC. España. 2013.**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Este taller, aplicado en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología en Madrid, realiza un viaje virtual desde nuestra escala hasta la escala nano; una vez ahí se abordan la forma en que los átomos se enlazan para formar moléculas, las técnicas de microscopía que nos permiten explorar la materia a escala nano, algunas nano-estructuras interesantes que se pueden formar y, finalmente, las propiedades que hacen trascendentes a las NT.

**Caja de Aventuras Científicas. Grupo Quark y Museo de Ciencias de la Universidad Autónoma de Zacatecas. México. 2013**

**MD:** diálogo. **EF:** riesgo genérico. **MI:** Educativa. **AT:** alto. **AS:** bajo.

Conjunto de 24 modelos recreativos agrupados en 5 ejes temáticos: fuentes de energía, ingeniería genética, telecomunicaciones, termodinámica y nanotecnologías. Aunque nominalmente hay un eje especializado en el tema nano, todas las demás líneas de trabajo incorporan aspectos relacionados con la nanociencia o las nanotecnologías. Estos kits se han utilizado en 13 instituciones de 9 estados en México. Entre los múltiples temas abordados destaca el desarrollo de una actividad inédita para abordar el tema de riesgos de las nanopartículas.

**Matter Factory. Houston Children Museum. Estados Unidos. 2013**

**MD:** diálogo. **EF:** avance posible. **MI:** Comercial. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Exposición interactiva que tiene como objetivo esencial acercar al público infantil al ambiente de un laboratorio especializado en nanotecnologías; ahí se identifican a los átomos y moléculas como los bloques elementales para la construcción de la materia, se investigan las propiedades de los materiales y se busca aprovecharlas para resolver diferentes problemas de la industria. El proceso se queda, entonces, en relacionar las propiedades físicas de la materia

a escala nano con necesidades comerciales pero sin incorporar ningún aspecto social para complementar la comunicación.

### **Videos documentales**

#### **Nanotecnología. Odisea Channel. España. 2002.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Video que presenta aplicaciones potenciales de las nanotecnologías para el campo de la medicina a partir del trabajo actual de la NASA con miras a una misión tripulada a Marte. Se abordan los retos médicos para enviar seres humanos al planeta rojo, el rol que se pretende que desempeñen avances de nanomedicina como nano-bots, puntos cuánticos, dendrímeros y exploradores.

#### **Nanotechnology Takes Off. KQED Public Television. Estados Unidos. 2007.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Docuental que ofrece un rápido panorama de lo que son las nanotecnologías, abordando elementos generales como el tamaño nano, los efectos importantes que lo hacen notable y la relevancia de su aplicación en el caso específico de las celdas solares. Se incluyen breves comentarios sobre riesgos y la necesidad de investigación precautoria. El contenido se generó específicamente con entrevistas y visitas en el Laboratorio Nacional Lawrence de la Universidad de Berkeley.

#### **Introduction to Nanotechnology. Kavli Foundation. Estados Unidos. 2008.**

**MD:** déficit. **EF:** utopía. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Aunque el video se plantea como una introducción general a las nanotecnologías en realidad resulta ser un tributo a la visión de Richard Feynman en su conferencia *There's plenty of room at the bottom* o bien al “mito creacional” de las nanotecnologías promovido por la *National Nanotechnology Initiative*, y estrategias asociadas, en Estados Unidos. El esquema aborda los elementos fundamentales planteados por la proverbial charla de Feynman y aborda los aspectos que han sido logrados hasta ahora, así como los puntos que parecen encontrarse en una ruta de éxito. El

enfoque optimista del producto es fiel al perfil de la institución que lo promueve, la Fundación Kavli, que se dedica a promover el avance de la ciencia y la tecnología en Estados Unidos.

**¿Qué es la nanotecnología? UNAM. México. 2008.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Propagandística. **AT:** medio. **AS:** nulo.

El video busca enganchar al público con el atractivo de posibles nuevos tratamientos nanotecnológicos contra el cáncer, a partir de ahí se ofrece una definición general de lo que son las NT y, en algo que lo distingue de los otros videos, se abordan algunos aspectos históricos que condujeron al desarrollo de este sistema científico-tecnológico. Finalmente, como un eje importante del material, se abordan ejemplos del trabajo de investigación en NT que se realiza en la UNAM.

**Nanotechnology: what's the big deal? OMSI y NISE Net. Estados Unidos. 2009.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artístico-cultural. **AT:** medio. **AS:** bajo.

Video, producido por el *Oregon Museum of Science and Industry* (OMSI) para la NISE Net, ofrece una panorámica general y amena para una persona que no ha tenido contacto con las NT. Usa diversas analogías y ejemplos para plantear de forma adecuada elementos como el tamaño de los nanómetros, la idea de propiedades inesperadas de la materia a esta escala, las ventajas que se pueden sacar de ellas, algunas de las principales líneas de trabajo en la actualidad y la existencia de riesgos inherentes a las NT.

**Degrees that work: Nanotechnology. Pennsylvania College of Technology. Estados Unidos. 2010.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Propagandística. **AT:** medio. **AS:** nulo.

A partir de la perspectiva de un estudiante universitario, que se involucra como colaborador en un programa de nanotecnologías, se ofrece un panorama general de lo que son las nanotecnologías a la par que se muestra un vistazo al trabajo cotidiano de los laboratorios de este tema. Se pone especial atención al trabajo que se lleva a cabo en la Universidad de Pennsylvania.

**El pequeño e increíble Nanomundo. Noboru Takeuchi y Marisol Romo. UNAM. México. 2011.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Material que deriva del libro del mismo título y creado por los mismos autores: la estructura del argumento es semejante pero se aprovechan los recursos del video para abordar múltiples elementos que no aparecen en la versión impresa. Se mantiene el concepto de nanobots como un gancho para atraer la atención del público infantil y se enriquece con animaciones que representan fenómenos a escala nano, pero se pierden aspectos ricos del libro al dejar fuera las actividades complementarias. El grupo que lo promueve, Ciencia Pumita liderada por Noboru Takeuchi, destaca por ser uno de los pocos esfuerzos que articulan diferentes medios para divulgar las nanotecnologías en México.

**Nanociencia y nanotecnología. Ciencia Pumita – Noboru Takeuchi. México. 2011.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Artística-cultural. **AT:** alto. **AS:** nulo.

Video que forma parte de la estrategia integral de Ciencia Pumita para divulgar las nanotecnologías. Se retoman ideas de los múltiples libros publicados por Noboru Takeuchi para ofrecer un panorama general de las nanotecnologías, con elementos como dimensión, microscopía y aplicaciones. Cabe destacar que se usa el concepto de nanobot al inicio como un gancho para llamar atención pero, más allá de señalar que aún no existen, el concepto no se retoma y se dejan dudas en el aire.

**Nanotechnology Applications. MRSEC University of Wisconsin-Madison. Estados Unidos. 2012.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Presentación centrada en dar a conocer las aplicaciones que hacen trascendentes a las nanotecnologías en la actualidad, así como posibles desarrollos que pueden lograr a futuro. La perspectiva que se ofrece es completamente positiva con una amplia variedad de ejemplos, desde bienes de consumo suntuarios (pantalones que no se ensucian o pelotas de tenis que duran más) hasta tratamientos médicos revolucionarios (especialmente contra el cáncer) o ideas relacionadas con ciencia ficción (el elevador espacial). El video se articula con otras estrategias de divulgación de la Universidad de Wisconsin, como el conjunto de actividades para talleres y el sitio web <http://mrsec.wisc.edu/nano>

**¿Qué sabemos de nanotecnología? CSIC y UNED. España. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Educativa. **AT:** medio. **AS:** bajo.

Primera entrega de una serie de 17 episodios producidos por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Este video dedica los primeros minutos a caracterizar de forma general qué son las NT; luego se da un panorama de lo que será la serie de entrevistas con investigadores españoles en NT, conducida por el investigador Pedro Serena. Se realiza una charla con Francisco Guinea, especialista en grafeno, con quien se discuten las NT y aspectos clave de su especialidad.

**A boy and his atom. IBM. Estados Unidos. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Propagandística. **AT:** bajo. **AS:** nulo.

Primer corto animado en la historia que usa la manipulación a escala molecular para contar una historia, en la que un niño juega con un átomo que se transforma en diferentes formas. Las imágenes se formaron con moléculas de monóxido de carbono animadas -con técnica *stop motion*- con ayuda de un microscopio de efecto túnel. El video sirve como campaña promocional para la capacidad tecnológica de IBM, en específico sus nuevos avances para la creación de dispositivos avanzados para el almacenamiento de datos, y de entrada ofrece información técnica para que el público comprenda la trascendencia de lo que están por observar.

**Power of Nanotechnology. Tech News. Estados Unidos. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** avance posible. **MI:** Propagandística. **AT:** bajo. **AS:** nulo.

Video que no fue creado específicamente por la organización que lo publicó en youtube (Tech News) sino que fue la combinación de dos videos previos: uno de una empresa que busca promover un recubrimiento protector para diferentes materiales (Ultra Ever Dry) y otro de la Universidad de Florida State en que se dan a conocer los potenciales usos de los materiales nanoestructurados de carbono. La razón por la que se incluye en el estudio a Tech News, a pesar de no haber creado el contenido, es porque los creadores originales de los videos solo lograron sumar

80 mil visitas con sus respectivas publicaciones mientras que la unión en una publicación nueva llegó a más de 17 millones de personas. El video es esencialmente propaganda de aplicaciones con muy poca reflexión incluso en aspectos técnicos, pero representa la acción con mayor alcance de todas las revisadas en el estudio.

**Nanotecnología. Actualidad y futuro. FES-Aragón, UNAM. 2013.**

**MD:** déficit. **EF:** utopía. **FP:** paradigmática. **AT:** medio. **AS:** nulo.

Se ofrece una visión general de las nanotecnologías, con una fuerte influencia de la visión de Eric Drexler y el aporte de Richard Feynman. En cuanto a líneas de trabajo específicas solo se abordan los temas de los microscopios de efecto túnel y los nanotubos de carbono; fuera de eso se queda en una visión utópica y futurista.

## 5.1 Descripción cualitativa de productos

Con el fin de facilitar el análisis general y la comparación de los diferentes productos de divulgación, el ejercicio cualitativo que recién hemos realizado puede resumirse a través de los datos en la tabla 5.1:

**Tabla 5.1 Características cualitativas de estrategias de divulgación Fuente: Elaboración propia**

Producto	MD	EF	MI	AT	AS
Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Understanding Nanotechnology	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Nanocosm	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Alto	Bajo
Nanofuture: what's next for nanotechnology?	Déficit	Utopía	Propagandística	Alto	Nulo
Nanotechnology for dummies	Déficit	Avance Posible	Comercial	Alto	Medio
Nanotechnology. Science, innovation and opportunity	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Nanotechnology: new promises, new dangers	Déficit	Conflicto	Sociopolítica	Medio	Alto
Nanotechnology (Cool science)	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
How small is nano?	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Medio	Nulo
Isthat robot real?	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Medio	Nulo
Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del ...	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Medio
Nanotechnology: balancing the promises	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Essentials of nanotechnology	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Nanociencia y nanotecnología. La construcción de un...	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
La nanociencia	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Alto	Medio
Una revolución en miniatura	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Alice in nanoland	Diálogo	Avance Posible	Artística-cultural	Bajo	Nulo
El pequeño e increíble nanomundo	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Medio	Nulo
Radical Abundance	Déficit	Utopía	Propagandística	Medio	Bajo
Understanding de nanotechnology revolution	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de....	Diálogo	Riesgo genérico	Sociopolítica	Alto	Alto
Los materiales nanoestructurados	Déficit	Avance Posible	Propagandística	Alto	Nulo
Nanotechnology: the whole story	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Hablemos de nanociencia	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
NanoDays 2009	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
NanoDays 2010	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Nano	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Alto
Nanotechnology outreach demonstrations	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo

Zoom into nano	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Dimensió Nano	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Nanoestación	C.P.	Avance Posible	Educativa	Alto	Medio
Nanotechnology activities	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Medio
Nanofabulous	Déficit	Avance Posible	Educativa	Alto	Nulo
Hacia lo imperceptible	Diálogo	Avance Posible	Artístico-cultural	Alto	Bajo
Explorando el nanomundo	Diálogo	Avance Posible	Educativa	Alto	Bajo
Caja de aventuras científicas	Diálogo	Riesgo Genérico	Educativa	Alto	Bajo
Matter Factory	Diálogo	Avance Posible	Comercial	Medio	Nulo
Nanotecnología (Odisea Channel)	Déficit	Avance Posible	Educativa	Medio	Nulo
Nanotechnology takes off	Déficit	Avance Posible	Educativa	Medio	Nulo
Introduction to nanotechnology	Déficit	Utopía	Educativa	Medio	Nulo
¿Qué es la nanotecnología?	Déficit	Avance Posible	Propagandística	Medio	Nulo
Nanotechnology: what's the big deal?	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Medio	Bajo
Degrees that work: Nanotechnology	Déficit	Avance Posible	Propagandística	Medio	Nulo
El pequeño e increíble Nanomundo	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Medio	Nulo
Nanociencia y nanotecnología	Déficit	Avance Posible	Artística-cultural	Alto	Nulo
Nanotechnology applications	Déficit	Avance Posible	Educativa	Medio	Nulo
¿Qué sabemos de nanotecnología?	Déficit	Avance Posible	Educativa	Medio	Bajo
A boy and his atom	Déficit	Avance Posible	Propagandística	Bajo	Nulo
Power of nanotechnology	Déficit	Avance Posible	Propagandística	Bajo	Nulo
Nanotecnología. Actualidad y futuro	Déficit	Utopía	Educativa	Medio	Nulo

La distribución del modelo de divulgación usado por las diferentes estrategias muestra un claro desequilibrio a favor del déficit (35), aunque existe una creciente presencia de estrategias tipo diálogo (14) y solo un caso aislado de compromiso público; resaltan los casos de cuatro libros, un medio que tradicionalmente hace trabajo tipo déficit, en que los autores realizaron el esfuerzo de interactuar con diferentes sectores del público para preparar su material. Por el contrario, en los videos no se encontró ningún caso que buscara retroalimentarse con los aportes de algún sector del público lego.

En cuanto a la mirada desde la que se aborda el proceso de divulgación, se encuentra un claro dominio de la educativa; con 30 estrategias alineadas a este tipo de perspectiva; le siguen la artística-cultural con 9, la propagandística con 7, así como la comercial y sociopolítica con 2 cada una. Esto se articula en gran medida con

el tipo de organizaciones y actores que promueven las estrategias, quienes en su mayoría tienen un interés en que las personas conozcan las NT para que puedan aceptarlas y apoyarlas.

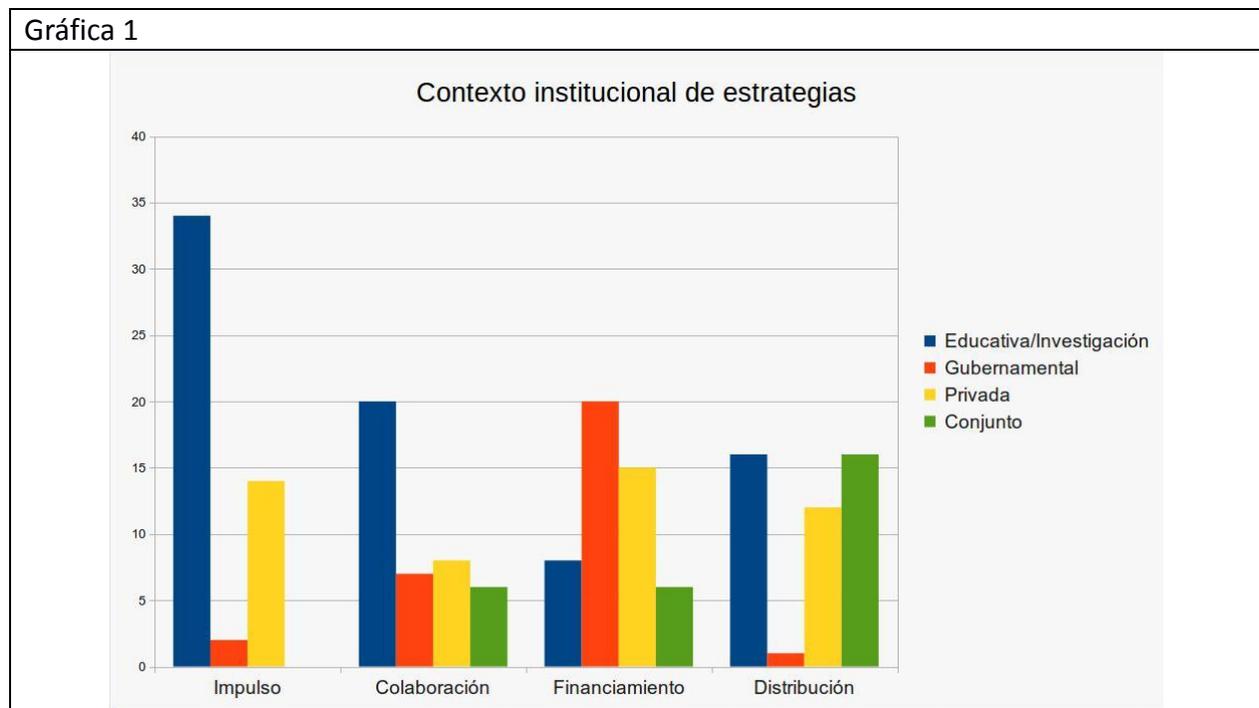
Al revisar el abordaje de la información observamos que 31 productos ofrecen un nivel alto en cuanto a la discusión técnica, 16 casos se ubican en un nivel medio y sólo 3 estrategias aportaron un nivel bajo en este sentido; en contraste la discusión social solo cuenta con 3 casos de un nivel alto, 4 en nivel medio, 14 con un abordaje bajo y 28 no lo incluyen de ninguna manera. Así para el abordaje técnico 47 de las estrategias se encuentran en un nivel medio o alto, mientras que para el caso social 42 se ubican en un nivel bajo o nulo. Esto es un indicador significativo del perfil y los intereses de las personas involucradas en los proyectos, con un privilegio hacia la búsqueda de una comprensión de los elementos científico-tecnológicos asociados a las NT pero sin conexión con las condiciones sociales que los hacen posibles; esto es, orientando la discusión más a lo paradigmático que a lo narrativo. Esto en gran medida se debe a la formación de las personas que dieron forma a los diferentes productos: como adelanto al análisis de contexto, podemos señalar que la mayoría de los productos con un hábil manejo narrativo involucraron en sus estrategias a personas con una formación en ciencias sociales y/o experiencia en divulgación.

La mayoría de los materiales analizados presenta un panorama optimista de las NT. 43 de las 50 estrategias analizadas presentan un enfoque tipo “avance posible” y cuatro más entran en “utopía”, con lo que el 94% de los productos manejan un panorama bastante halagüeño de las NT. Si bien algunos de estos materiales abordan de alguna forma el tema de riesgos, la manera en que lo hacen y el espacio que le dedican no son suficientes para considerarlos dentro de un enfoque más crítico. Sólo 2 productos muestran características para considerarse en “riesgo genérico” y para “conflicto” hay nada más un producto.

Los productos parecen tener cierto énfasis en propiciar una empatía del público con los avances de las NT a través de situaciones cotidianas en las que podrían resultarles útiles. Si bien se trata de una estrategia didáctica acertada, y útil para un primer acercamiento, más del 90% de los productos se quedan cortos en cuanto a una reflexión social más profunda sobre lo que las personas esperan de este nuevo sistema tecnológico, lo que en realidad se hace, quién decide la ruta a seguir y a quién se beneficia con esto.

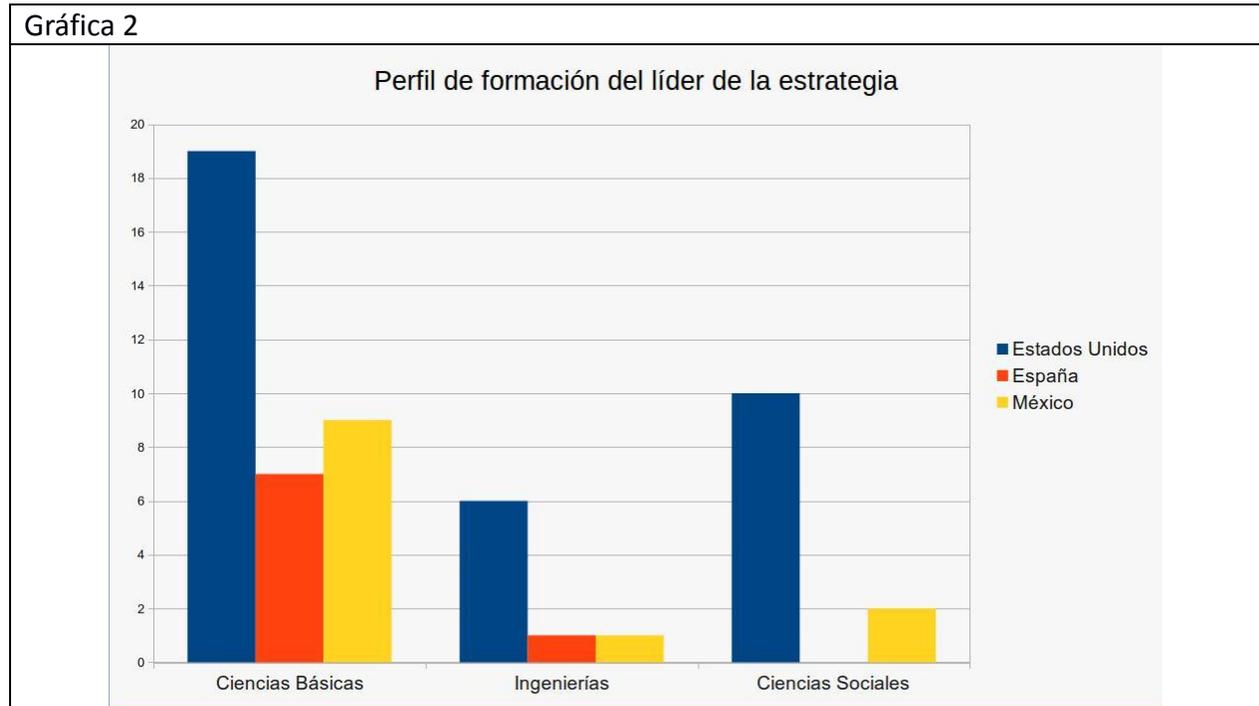
## 5.2 Análisis integral de las estrategias

Una vez que se construyó el perfil inicial de los productos, sigue abordar la información procesada por la matriz de caracterización de las estrategias; a través de elementos de contexto, forma y contenido. El contexto implica las condiciones que hicieron posible la estrategia, así como el perfil de formación y actividad principal del líder del proyecto; la forma se refiere al modelo de divulgación utilizado, el enfoque de la información y la mirada desde la que se aborda el proyecto; el contenido refiere al abordaje de elementos técnicos, sociales y la discusión de riesgos en los diferentes productos. Al integrar estas tres dimensiones en el análisis se tendrán las condiciones para un panorama completo de la divulgación de NT en España, Estados Unidos y México entre 2000 y 2013.



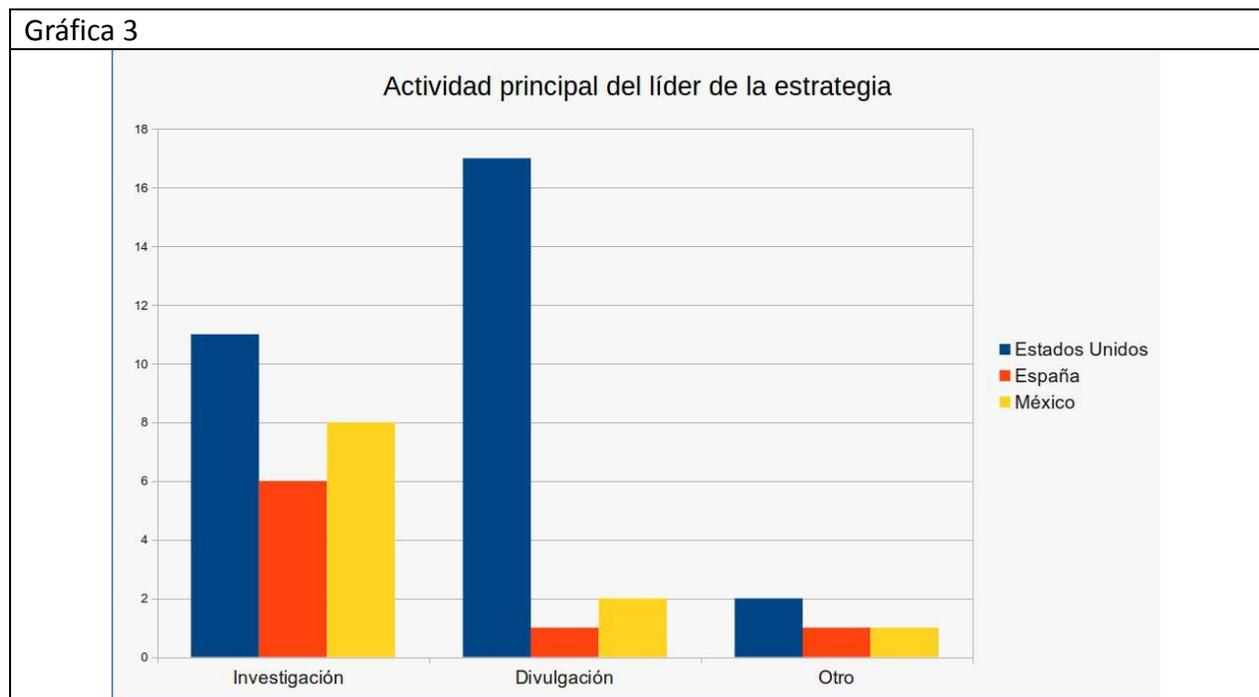
Sobre el contexto institucional que dio origen a la estrategia, nos parece relevante conocer el tipo de institución que asumió el liderazgo, las instituciones colaboradoras, aquellas que otorgaron el financiamiento y las que distribuyeron los productos. La gráfica 1 muestra que 34 de las 50 estrategias provienen de instituciones educativas como universidades, museos y centros de investigación, mientras que el resto surgen en su mayoría de instituciones privadas (14) como editoriales y corporaciones comerciales, y solo 2 fueron realizadas de forma directa por organismos gubernamentales.

Como complemento a la iniciativa de las organizaciones educativas vemos que el financiamiento para hacer posibles los proyectos tiene como principal soporte al sector gubernamental: 40% de los proyectos fueron financiados con recursos públicos, 30% por instituciones privadas, 16% por los propios organismos educativos y en un 14% se combinaron varias fuentes de recursos. En cuanto a las colaboraciones, éstas se presentan con más frecuencia (20 casos) con instituciones educativas, y después encontramos 8 con el sector privado, 7 con el gobierno y 6 con varios tipos de instituciones. En términos generales la participación del sector privado es baja, se limita esencialmente a las editoriales involucradas en la publicación y distribución de los libros o a una corporación, como el caso de IBM, que desea hacer propaganda de sus capacidades y productos.



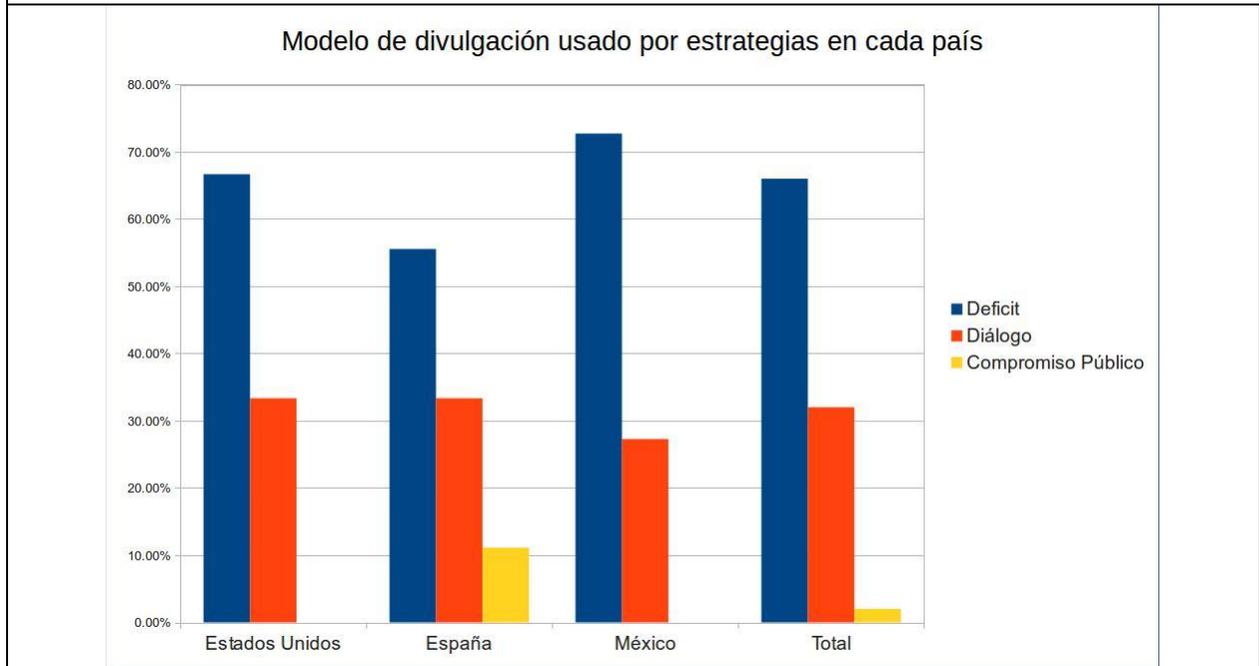
El perfil de formación de los líderes de las diferentes estrategias (Gráfica 2) nos ofrece datos muy interesantes: 43 proyectos fueron encabezados por personas con formación en ciencias básicas o ingenierías (expertos técnicos), la mayor participación de científicos sociales se dio en Estados Unidos (10), donde éstos colaboraron con expertos en NT para desarrollar sus estrategias de divulgación. A partir de esta información encontramos una explicación sencilla para la marcada hegemonía del abordaje técnico sobre el abordaje social de las NT, es poco probable que

especialistas técnicos se salgan del confort de su área de formación para meterse en el abordaje social de un sistema científico-tecnológico emergente. En relación a esto, la gráfica 3 nos muestra que la mitad de las estrategias fueron dirigidas por personas que se dedican a la investigación como actividad principal; mientras en 20 casos un divulgador profesional fue líder del proyecto (de las cuales 17 se realizaron en Estados Unidos) y hay 4 proyectos encabezados por personas con otra actividad principal. Esto sugiere que en México y España la divulgación de NT aún depende en gran medida del interés y esfuerzo de investigadores; la comunidad de divulgadores necesita involucrarse más.

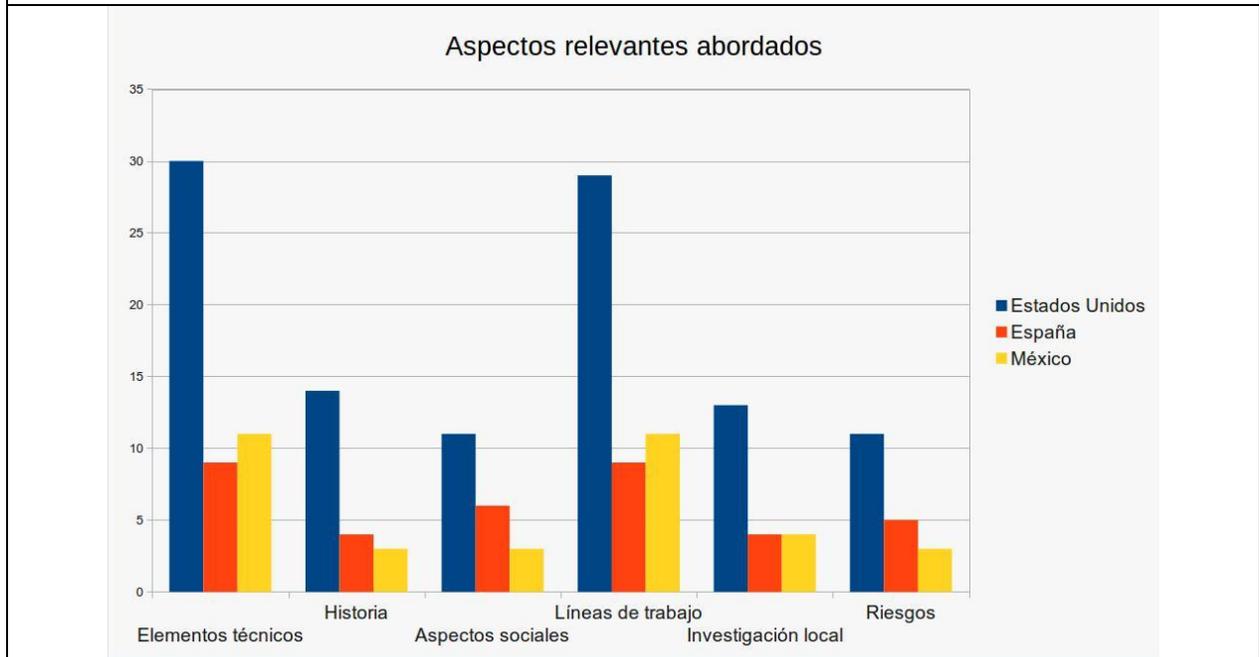


En cuanto al modelo de divulgación utilizado en las estrategias (Gráfica 4) encontramos una marcada ventaja en las estrategias que trabajan tipo déficit, entre las que se cuentan dos terceras partes de los casos revisados en el estudio. Se identifican 16 proyectos que establecieron una comunicación tipo diálogo ya sea para la elaboración del producto o su uso público. Destaca la presencia de una estrategia tipo compromiso público, el proyecto Nano Estación que colaboró con NanOpinion de la Unión Europea y ayudó a recopilar los intereses y preocupaciones de ciudadanos en La Coruña, España, para incorporarlos a lineamientos de políticas públicas a nivel europeo. Para una primera explicación de esta distribución podemos tomar en cuenta que todos los videos considerados en el estudio trabajaron una dinámica tipo déficit, igual que 20 de los 24 libros; el medio que invierte esta tendencia son las exposiciones y talleres, con 11 de las 13 estrategias insertándose en diálogo.

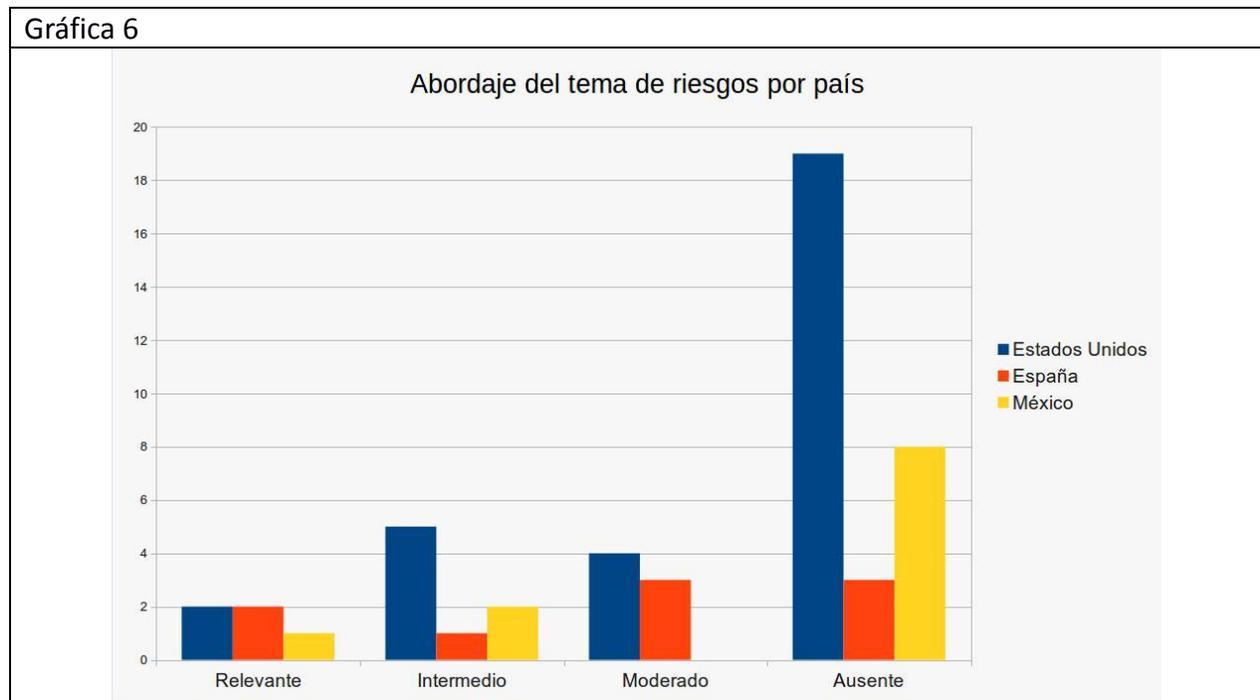
Gráfica 4



Gráfica 5



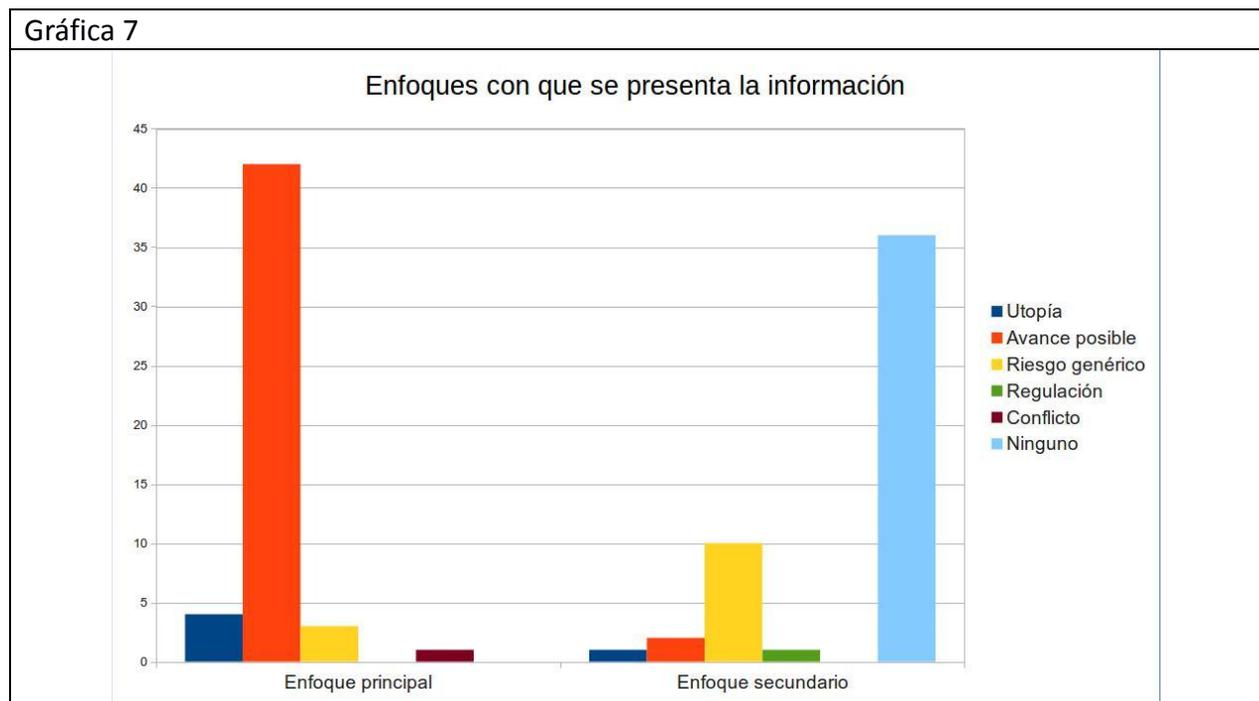
La gráfica 5 nos permite hacer un contraste del contenido de las diferentes estrategias: encontramos que todos los productos incorporan los elementos técnicos generales que caracterizan a las NT y también abordan las principales líneas de trabajo en las que se avanza; sin embargo la discusión cae de forma drástica cuando hablamos de historia (21 casos), aspectos sociales (20) y riesgos (19), en ninguno de los casos se alcanza el 50% de los productos. En particular el abordaje de estos tres rubros se presenta menos en las estrategias que se llevaron a cabo en México.



Si centramos nuestra atención en el tema de riesgos, un elemento fundamental para muchos sectores sociales, la situación de las diferentes estrategias es muy dispar. Por inicio de cuentas 30 de las estrategias (60%) ignoran el tema por completo, mientras que otras 7 estrategias lo abordan de forma marginal; esto deja un magro 26% de los casos (13 proyectos) que le ofrecen a la sociedad un panorama más completo de todo lo que implica este sistema de CyT emergente.

Sólo hay 5 casos (10%) en los que hay un rol relevante de los riesgos en el enfoque presentado, y merecen ser destacados por sus situaciones particulares. Tres libros hacen relevante la discusión de riesgos sin convertirla en uno de los aspectos centrales de su discusión -“Nanotechnology: balancing the promises” (España), “La nanotecnología” (España) y “Nanotechnology for dummies” (Estados Unidos)- en los tres casos se trató de materiales en que los

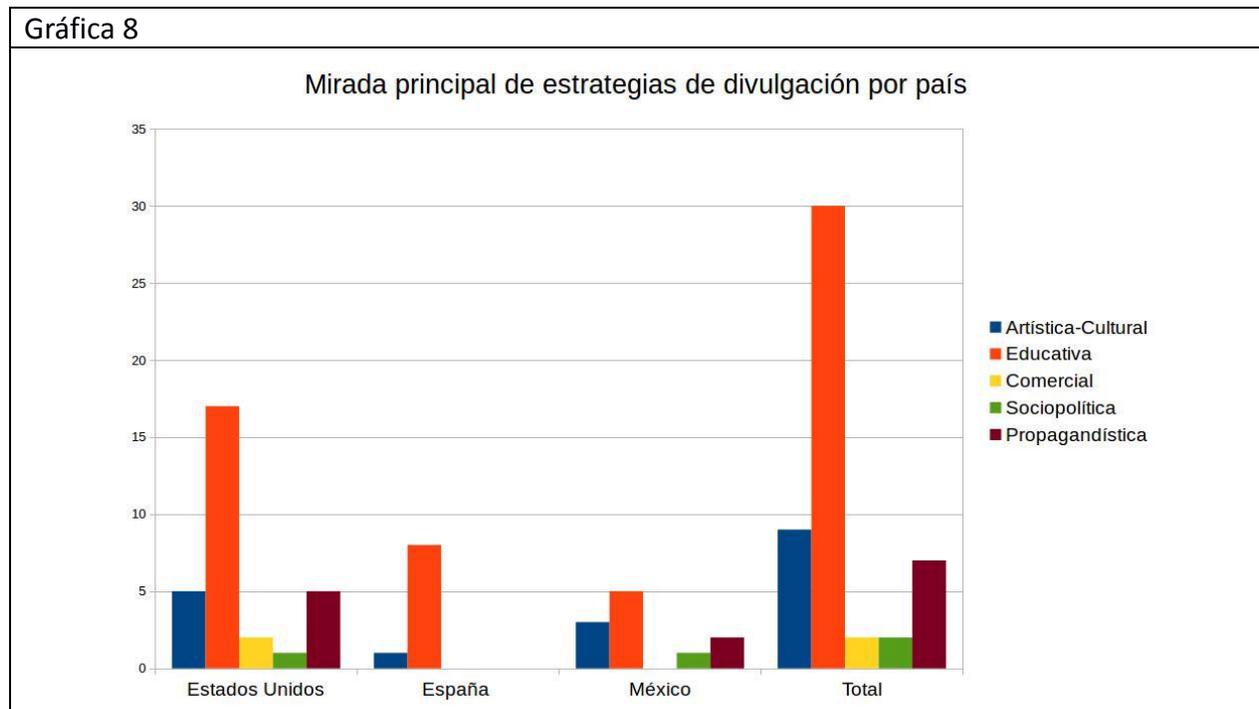
autores son investigadores que, por vocación personal, buscaron al menos abrir un pequeño espacio para incluir el tema. Tenemos dos textos que llevan un panorama mucho más amplio, profundo y rico a sus procesos de comunicación; el primero fue “Nanotechnology: new promises, new dangers”, escrito por un periodista que exploró los diferentes aspectos sociales relevantes a las NT y puso especial atención a los riesgos; el segundo caso es “Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de la nanotecnología en América Latina y el Caribe” que estuvo a cargo de dos científicos sociales que buscaron responder a las inquietudes de organizaciones internacionales de sindicatos y otros movimientos sociales.



A partir de este abordaje limitado de los riesgos, que se acompaña con un entusiasta abordaje de las diferentes ventajas de las NT, el enfoque que los productos le ofrecen a su público es bastante homogéneo: el 84% de las estrategias se ubican en “avance posible”. Para enriquecer este análisis, y dar una mejor caracterización, la gráfica 7 nos ofrece también una perspectiva del enfoque secundario presente en los diferentes esfuerzos.

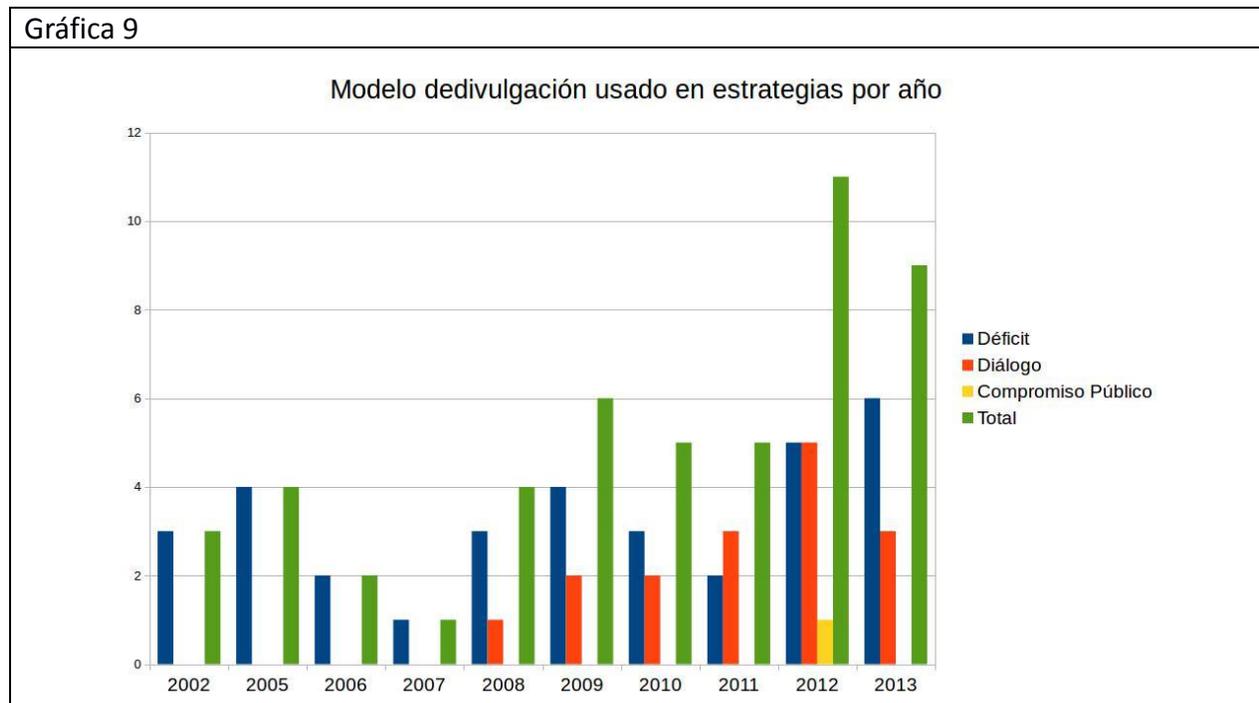
Sólo 14 de las 50 estrategias tienen un enfoque secundario, incorporando a su discurso elementos de utopía, avance posible, riesgo genérico y regulación en diferentes casos. Los otros 36 trabajos no incorporan otra visión, se mantienen en su enfoque principal. En todo caso la dimensión social de los riesgos escapa el abordaje de 48 de los 50 productos analizados: la mayoría de los productos presentan los efectos no

deseados como algo solamente técnico e inherente a las nuevas tecnologías pero no se discute la necesidad de regulaciones, ni la construcción social de la forma específica que adoptan las NT y cómo el camino elegido beneficia a algunos sectores y expone a otros grupos sociales a riesgos.



El conjunto de la información que hemos abordado hasta ahora nos acerca a un panorama general de cómo surgieron y qué hicieron las estrategias de divulgación de NT en los tres países entre 2000 y 2013, pero para completar la imagen es necesario tomar en cuenta las miradas que se identifican con el análisis de los 50 casos. En términos generales domina la mirada educativa, pero podemos encontrar un país con muy poca diversidad en sus perspectivas (España) y los otros contextos con un poco más de diversidad. Aunque se trata de un tema en “boga” que se podría prestar para hacer negocio la mirada comercial ha estado muy limitada pues hay una mayor preocupación por “educar” a la sociedad sobre el tema que por lucrar con él; esto se hizo patente de forma colosal con la NISE Net en EE.UU. que logró aglutinar a un gran número de museos comerciales para dejar de lado el afán de ganancias y concentrarse en dar a conocer un tema de gran trascendencia socioeconómica.

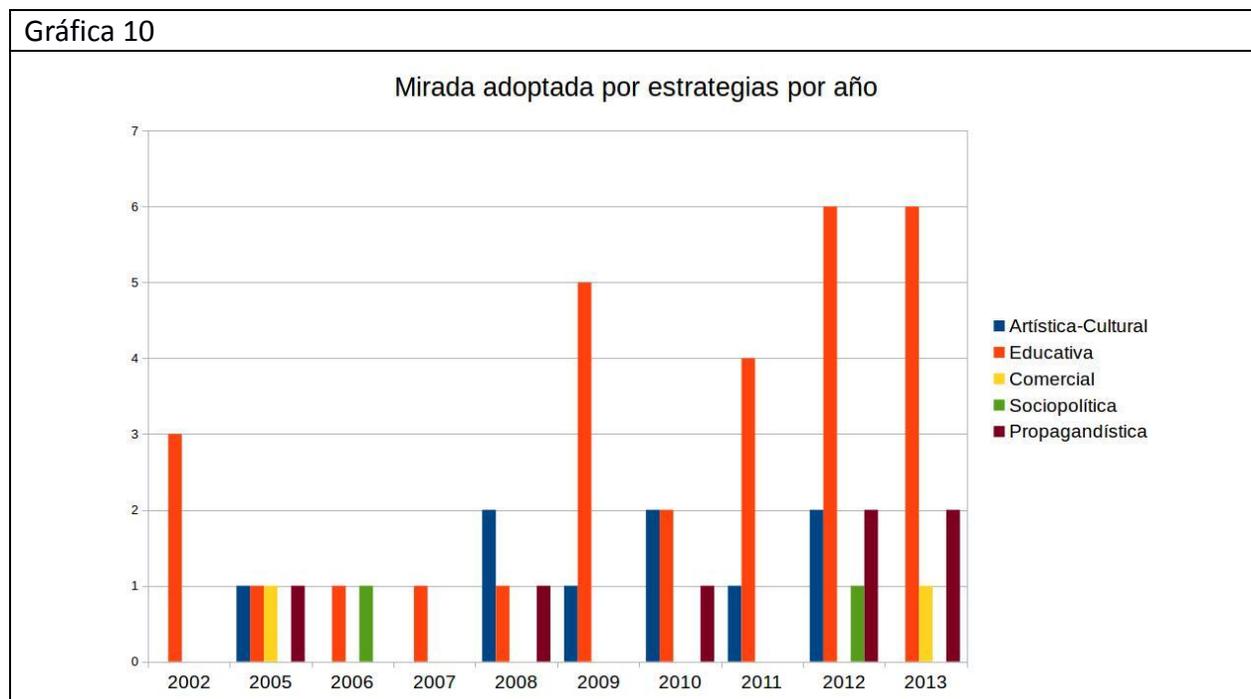
Para avanzar en nuestra revisión de los datos generados por el estudio, es importante desplazarnos del análisis geográfico para una revisión cronológica que nos permita ver si existe una evolución en las características principales de las estrategias a través del tiempo.



La gráfica 9 nos permite ver que entre 2002 y 2007 todas las estrategias propiciaban una comunicación tipo déficit y es a partir de 2008 cuando el diálogo empieza a cobrar una presencia creciente en la divulgación de NT en los países analizados. A la par de esto observamos que, con pequeñas variaciones que pudieron ser causadas de forma inadvertida por el proceso de selección, el número de estrategias por año marca una evolución a la alza. Este aumento de productos de divulgación disponibles y de diversidad de modelos de divulgación usados nos habla del desarrollo de cierta madurez en la divulgación del tema; incluso, de forma más cualitativa, se nota como el trabajo de investigadores -como Noboru Takeuchi en México, Pedro Serena en España y Carl Batt de Estados Unidos- pasó de una visión lineal de la divulgación a una perspectiva mucho más rica conforme avanzaron en los diferentes proyectos en que fueron líderes y, en el proceso, interactuaron con diferentes profesionales en divulgación y ellos mismos se fueron formando como divulgadores.

Al aplicar la revisión temporal al caso de las miradas de los diferentes casos notamos que no existe una tendencia clara, salvo por la presencia de la mirada educativa en todos los años en que se analizaron los productos

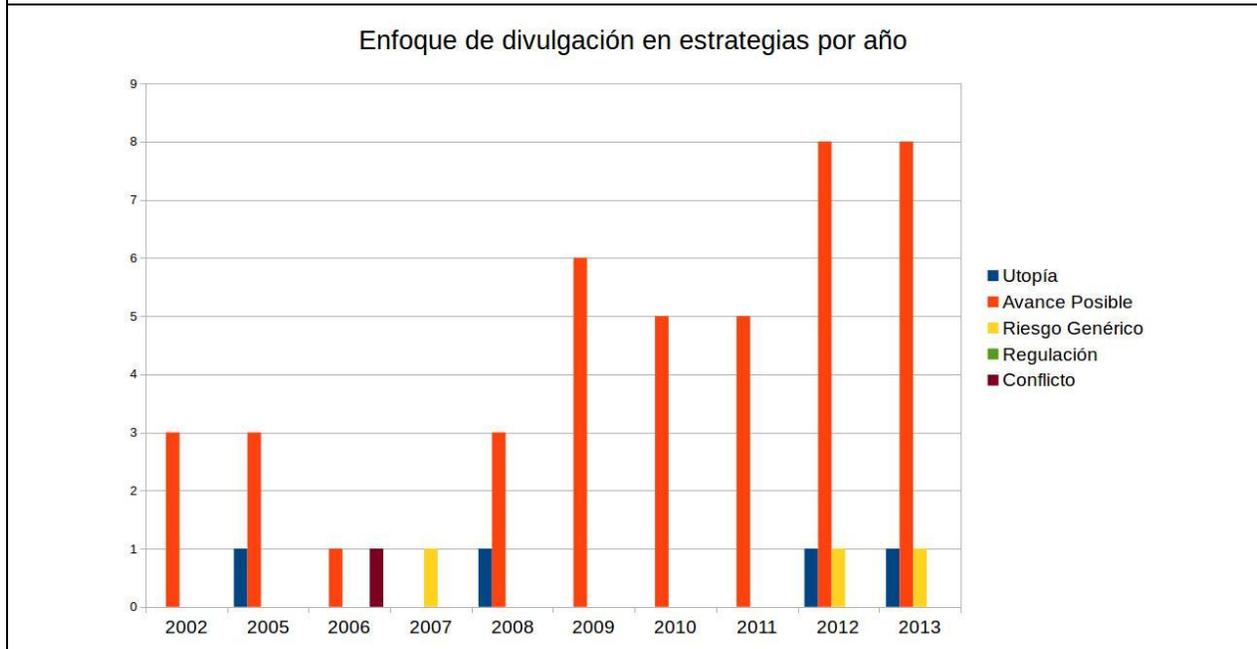
de divulgación; y esto no es una sorpresa en virtud del gran número de casos que asumen esta perspectiva. Todas las otras miradas aparecen de forma esporádica y sin relación aparente unas con otras. Esto nos dice que el avance de la investigación en NT y la evolución en la madurez como divulgadores de las personas involucradas no son factores que afecten a las miradas adoptadas; como veremos en breve, es un factor más trascendente el perfil de actividad principal de los líderes de las estrategias.



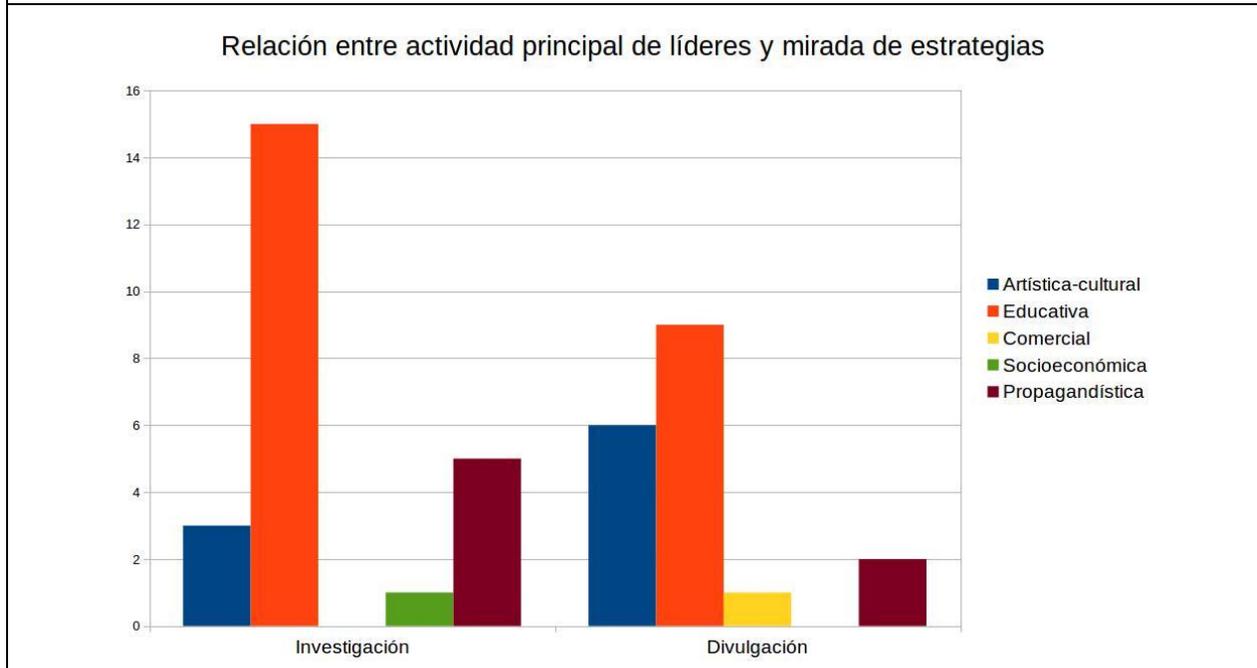
De forma semejante, el estudio de la variación de los enfoques en función del tiempo no muestra una tendencia muy clara salvo por elementos que ya hemos revisado como el aumento total de estrategias y el dominio marcado del enfoque de “avance posible”. De hecho, el dominio tan marcado de tal enfoque sobre los demás hace muy complicado establecer algún tipo de relación estadística con cualquier otra variable.

Para cerrar, y redondear, nuestro análisis estadístico de la información recabada presentamos dos relaciones interesantes que emergen a partir de la actividad principal de los líderes de estrategias.

Gráfica 11

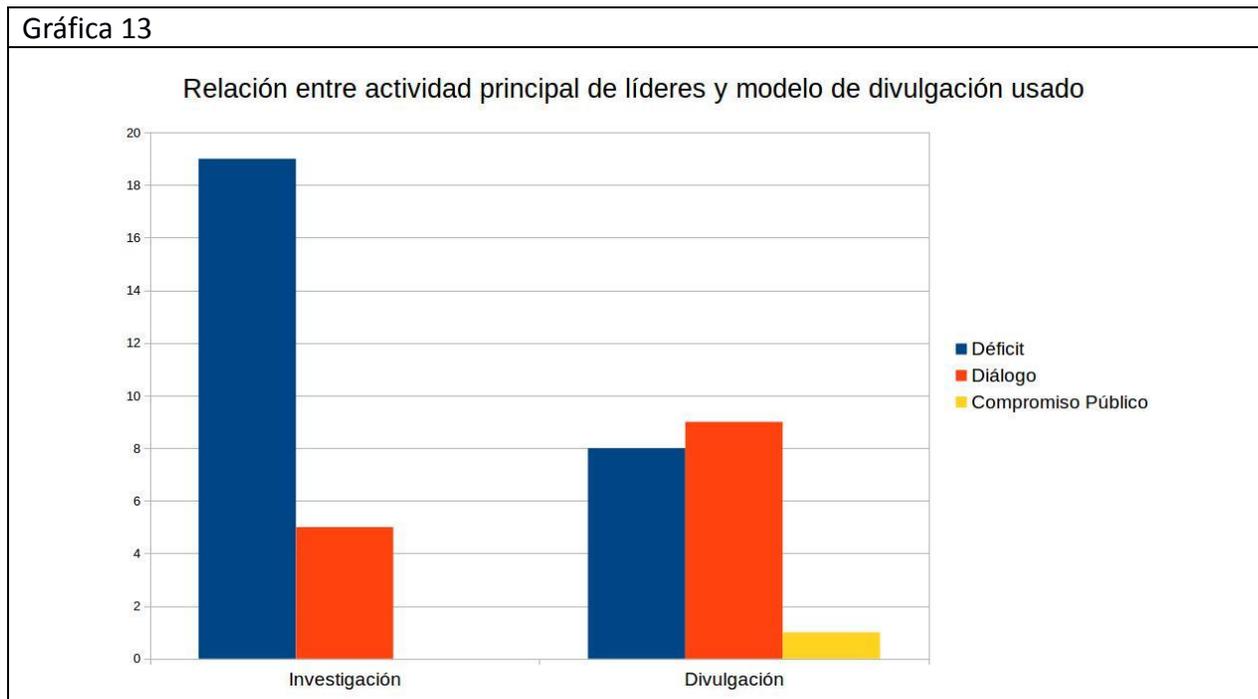


Gráfica 12



Para facilitar la interpretación de las gráficas se dejaron fuera los datos los casos de líderes de estrategias que se dedican a actividades como administración, gestión o periodismo; de forma que los datos ofrecen un contraste directo entre lo que ocurre cuando la cabeza es un investigador o un divulgador. En este proceso quedaron fuera 8 de las 50 estrategias revisadas.

De la Gráfica 12 inferimos que los divulgadores son más propensos a buscar una mirada “artístico-cultural”, lo cual se puede explicar por una convicción de deleitar al público en el proceso y la formación para hacerlo posible; así mismo vemos una menor tendencia de los divulgadores a la mirada propagandística y lo podemos interpretar como la falta de interés directo de estos profesionales por una mayor inversión en el tema (contrario a los investigadores que sí reciben respaldo económico para su labor). Y de la misma Gráfica 12 se debe destacar que el único caso de una mirada sociopolítica viene de investigadores sociales.



En la Gráfica 13 encontramos que los investigadores son mucho más propensos a la divulgación tipo déficit, mientras que los divulgadores profesionales exhiben una tendencia más equilibrada con una ligera ventaja para el diálogo (con el extra que implica el caso de compromiso público). Esto resulta obvio en la medida que un divulgador de tiempo completo conoce muchas de las ventajas teóricas que hemos discutido del diálogo respecto al déficit y recurre a este último modelo solo cuando un caso específico de comunicación lo requiere.

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo se considera que el desarrollo implica la transformación en las relaciones sociales y en la estructura productiva de una sociedad para mejorar sus condiciones de vida. El argumento del capítulo 3 estableció cómo se insertan la CyT en estos cambios, moldeando el futuro de la sociedad, y también quedó patente que quienes definen el rumbo de los nuevos avances científico-tecnológicos van a establecer las condiciones de vida a futuro. La construcción social de la CyT va íntimamente ligada, entonces, al desarrollo.

La participación de diferentes sectores en la definición de la ruta del desarrollo no es una situación nueva, es una pugna permanente en las que diferentes organizaciones –de tipo social, empresarial, político y académico- buscan influir en los cambios de una sociedad. En el caso de las disputas para darle forma a la CyT emergentes nos encontramos con un alto grado de desconocimiento público de los avances de frontera; la paradoja está en cómo discutir –y moldear- socialmente algo que muy pocos entienden. Aparece entonces la importancia de la divulgación como promotora de comprensión, discusión y participación social en la definición del rumbo de la CyT, en general, o de las nanotecnologías en específico.

Pero lograr esta participación no es para nada sencillo, divulgar las NT es una labor compleja: hablamos de un sistema científico-tecnológico emergente que trabaja a una escala invisible para nuestros sentidos y con fundamentos técnicos que surgen de las teorías más extrañas jamás elaboradas por el ser humano. No es sencillo entablar una comunicación al respecto con sectores poco enterados en materia de CyT y que rara vez están acostumbrados a discutir los diferentes aspectos sociales de las tecnologías de vanguardia: como definición de prioridades, manejo de riesgos (a la salud, medio ambiente y el empleo), desigualdad, impactos al empleo, pugnas de poder, así como la política y economía de la innovación. Involucrar a la sociedad en la construcción de las NT representa un gran reto y la forma de enfrentarlo dice mucho de la concepción que países, organizaciones y personas tienen de la relación entre ciencia, tecnología y sociedad en momentos específicos:

“Desde nuestro punto de vista, la especificidad de cada tipo de discurso de divulgación de la ciencia corresponde a la identidad de los diferentes actores sociales, de las distintas posiciones que ocupan los interlocutores, y el tercero -fuente de mención- en un momento y espacio determinados, así como los diferentes valores y creencias que sobre la ciencia tiene cada

grupo en una sociedad determinada. Esto es así, puesto que el discurso de divulgación es testigo de la ideología, y esta última está inmersa en o forma parte de la cultura de una sociedad.” (Berruecos, 1998, p. 31)

El contenido de la discusión y la forma en que se desenvuelve, “cristalizadas” en las bases que nos dan las categorías de análisis de la comunicación pública de la CyT, nos permiten entender mucho de la estructura institucional en la que se presenta el desarrollo de las nanotecnologías; de su relación con personas y organizaciones; así como del papel que asumen los diferentes sectores de la sociedad en cuestión. Y la misma complejidad del tema de análisis nos impide tener conclusiones planas y lineares; de forma que, en este último apartado, intentaremos movernos en diferentes aspectos esenciales para armar una visión de conjunto de un problema polifacético.

### **La dualidad de la discusión técnico/social**

El primer gran reto para el análisis aparece en la dualidad de la discusión técnica y social que, como hemos señalado de forma repetida en este trabajo, son las dos caras del avance científico-tecnológico. La discusión de un solo lado implica una visión parcial en la construcción de las NT, con lo que es necesario contar con ambas partes aunque no es posible hacerlo a la par. El abordaje técnico de las NT es la base para comprender y discutir cualquier aspecto de este sistema científico-tecnológico: es imprescindible tener una idea clara de la escala a la que se trabaja, los principios que hacen especiales a los materiales y artefactos a nivel nano, la forma en que se pueden aprovechar sus ventajas y los riesgos que aparecen por sus propiedades novedosas. Sin todos estos elementos la discusión estará en el aire al no identificar con claridad los avances en cuestión. Aun así es necesario aclarar que la discusión técnica es solo el primer escalón, una condición necesaria pero no suficiente para hacer posible la discusión sobre la relación entre NT y sociedad.

Aquí podemos identificar dos tipos de abordajes que, aunque parecen semejantes, se diferencian de forma trascendente: se puede hablar de implicaciones sociales o de aspectos sociales. Como señala Lewenstein (2005, p. 6) hablar de implicaciones es reflejo de la idea de que la CyT aparecen primero y son seguidas por consecuencias inevitables; por el contrario, hablar de aspectos reconoce el origen y la esencia social de las actividades científico-tecnológicas.

La discusión de implicaciones acepta a las NT como algo dado, destinado a ser de cierta manera sin importar los intereses sociales, y busca la forma de lidiar con las ventajas y riesgos de la mejor manera, es un tipo de discusión social muy limitada. El abordaje de aspectos sociales -en cambio- cuestiona el origen, la definición de prioridades, la inversión, la ruta y la forma que han adoptado las NT, para una discusión social más rica. Los intereses de las instituciones y personas que promueven las diferentes estrategias de divulgación de NT son de gran importancia para definir si el abordaje se limita a lo técnico, incluye implicaciones sociales o llega a una discusión más profunda de aspectos sociales.

Dentro de esta perspectiva la mayoría de las estrategias analizadas se quedan cortas: sólo el 40% de los casos incorporan aspectos sociales (Gráfica 5, p. 162). Incluso las estrategias que los incluyen desarrollan su discusión más por el lado de efectos de las NT que en las condiciones de su construcción. Sin embargo la inclusión de los temas sociales es un avance que puede servir como plataforma para abordajes más profundos. La aparición de temas sociales no distingue los casos en diferentes países, el determinante aparece de las condiciones particulares de los proyectos: la discusión fue más rica en aquellos con personas con una formación social, o bien que fueron promovidos por organizaciones -como NISE Net- con una mayor madurez en su labor, resultado de una trayectoria de varios años en la divulgación de NT.

Salvo por dos casos sobresalientes -“Nanotechnology: new promises, new dangers” e “Implicaciones sociales y ambientales de la nanotecnología en América Latina y el Caribe”- se muestra una clara tendencia de las estrategias por evitar la polémica. Y los casos excepcionales vienen de autores atípicos: el primero de un periodista que estableció una postura crítica desde afuera de la academia para investigar diferentes aspectos de las NT y el segundo material surge de un par de investigadores sociales comprometidos con las preocupaciones de sindicatos internacionales. Del resto de las estrategias, la mayoría fueron promovidas por instituciones educativas, como Universidades y Museos, y financiadas por organismos gubernamentales. Esto manifiesta un interés por promover el avance y una adopción social exitosa de las NT, así como explica la ausencia de una postura crítica respecto a la ruta de avance de este sistema científico-tecnológico.

Las estrategias parecen un intento para legitimar la inversión que se ha realizado hasta la fecha y para buscar mayores apoyos, sobre todo porque muchos esfuerzos fueron encabezados por investigadores que realizan trabajo en el tema. El único caso en que se plantea una crítica específica es el libro de Drexler pero -más que una invitación a la reflexión social sobre el mejor camino para el avance de las NT- parece un reclamo por la

“distorsión” que se ha hecho respecto a su visión original de lo que deberían ser las NT. Si nos informamos solo en base a la panorámica que ofrecen el resto de los trabajos pareciera que no existieron opciones distintas, no hubieron pugnas y no hay forma de que la sociedad incida en la ruta de las NT. Aunque en la mayoría de los casos prevalecen otras miradas a la divulgación, no deja de haber un toque importante de propaganda: la intención por convencer al público de las bondades de las NT tal cual son y en la ruta en que se encuentran.

### **¿Qué nos dicen las herramientas teóricas de la divulgación?**

La ventaja de contar con las herramientas teóricas que se desprenden de los estudios de comunicación pública de la CyT es que con los datos obtenidos podemos extraer conclusiones claras respecto a las estrategias de divulgación. En particular vamos a abordar 4 aspectos esenciales: modelos, enfoques, miradas y el balance entre el abordaje paradigmático y narrativo.

El 66% de las estrategias analizadas (Gráfica 4, p. 162) en el estudio corresponden al modelo de déficit, con una dinámica de transmisión lineal, unidimensional y promocional de los temas abordados. Esto nos habla de una visión dominante que aún le otorga toda la autoridad en la discusión de las NT a los expertos que investigan el tema y conocen a fondo su lado técnico, sin que se reconozca la necesidad de participación de diferentes sectores sociales para aportar sus intereses, necesidades y preocupaciones en busca de darle legitimidad a estos avances. Es importante reconocer que, con un 34%, las acciones que buscan una retroalimentación social empiezan a cobrar relevancia; por lo general surgen por iniciativa de divulgadores profesionales u otros agentes con la convicción de involucrar a diferentes actores y organizaciones en la discusión del tema.

Aquí cabría preguntarnos si, como complemento a la misma labor de divulgación de la CyT, los divulgadores no deben promover una mejor comprensión social de su trabajo –una suerte de divulgación de la divulgación: para dar a conocer los fundamentos de los estudios de comunicación pública de la ciencia entre los investigadores, con la idea de convencerlos de la necesidad de retroalimentarse con la opinión de diferentes; y además ofrecerles las herramientas de comunicación que les permitan establecer una discusión exitosa con su público. En muchos casos el problema no es de falta de voluntad o interés, sino que los científicos que emprenden la tarea de divulgar las NT no tienen la experiencia ni la preparación para establecer un proceso de comunicación capaz de tomar en cuenta el aporte de diferentes sectores no expertos.

En cuanto a los enfoques con que se aborda la información, la tendencia es clara hacia el “avance posible”: los productos plantean metas asequibles para motivar el respaldo público a las NT y evitar un posible desencanto al no conseguir lo que se ofreció (como puede ocurrir con la utopía). 42 de las 50 estrategias (Gráfica 7, p. 164) manejan la información desde esta perspectiva, estableciendo un desequilibrio mayúsculo respecto a las otras formas de abordaje. El resto de los casos se distribuyen entre utopía (4), riesgo genérico (3) y conflicto (1).

Al abordar las miradas planteadas por Reynoso (2012) -y que sirven como un importante recurso para vincular el contexto, los intereses y las características de las estrategias- hay también una marcada tendencia hacia la mirada educativa con 30 proyectos; la mayoría de los casos apuestan por una alfabetización sobre NT que impulse una visión favorable del tema en la sociedad. Hay 9 casos que se cargan a un abordaje cultural del tema, en 7 las acciones se orientan a la propaganda del trabajo de las NT, tenemos dos esfuerzos comerciales que buscan un lucro directo y, finalmente, resalta que sólo dos entre 50 ofrecen una mirada sociopolítica del asunto. Esto nos indica la tendencia de las personas y organizaciones involucradas por alejarse de la polémica, evitando presentar la rica problemática social que rodea la aparición y el crecimiento de las nanotecnologías.

La forma en que los proyectos abordan la discusión sobre NT dice mucho de las condiciones de las personas involucradas. Existe una fuerte carga al pensamiento paradigmático en las estrategias, la cual en primer lugar nos refleja la formación de los líderes pues 38 de ellos provienen de ciencias básicas o ingenierías: su estructura mental se inclina más a las operaciones lógicas que al uso de relatos. Además, sobre todo en aquellos que emprenden la divulgación por vez primera, se evidencia una falta de preparación y práctica para enriquecer la parte paradigmática con elementos de narrativa. Destacan, en este sentido, los casos de investigadores que realizaron múltiples trabajos al respecto en diferentes momentos -como Noboru Takeuchi en México y Pedro Serena en España- en que los nuevos trabajos son muestra del crecimiento en su capacidad para incorporar el pensamiento narrativo. Más relevantes resultan las estrategias en que -como hizo la NISE Net- se propicia la colaboración entre expertos técnicos, investigadores sociales y divulgadores.

La presencia de recursos narrativos resulta de especial trascendencia porque son el único camino para incluir los aspectos sociales en la divulgación: no es posible abordar la riqueza de la relación ciencia-sociedad sólo a través del pensamiento paradigmático. A diferencia de la parte técnica en que el trabajo de Batt (2011) nos ofrece una referencia para facilitar el abordaje de las NT en la divulgación, la cual ya abordamos en el capítulo 3, no existen referencias directas que sirvan para construir algunas líneas narrativas para el abordaje social de las

nanotecnologías. En función del análisis que llevamos a cabo en el presente trabajo ofrecemos una propuesta de principios básicos para divulgar las NT -o cualquier otro tema- en el marco ciencia, tecnología y sociedad:

**i) Los científicos y tecnólogos también son personas.** Muchas veces se idealiza la imagen del investigador como un individuo concentrado en su trabajo técnico y ajeno a las condiciones sociales a su alrededor. Abordar aspectos personales y sociales en la divulgación de NT ayuda a crear una identidad con los científicos que trabajan en este tema y, en un punto más relevante, entender los anhelos, incentivos y problemas que orientan el trabajo del investigador en una dirección particular. Aquí también es útil destacar que los especialistas en un tema particular difícilmente conocen a fondo otras áreas de CyT o incluso los aspectos sociales del trabajo que realizan: la opinión de un experto en un tema fuera de su campo no tiene un carácter científico.

**ii) Los aspectos sociales de las nanotecnologías son tan relevantes como los técnicos.** Los dispositivos tecnológicos que abundan a nuestro alrededor no aparecieron de la nada ni estaban predestinados a existir en la forma exacta que los conocemos: son resultado de la visión específica de sus creadores y de la pugna socio-económica de la que surgen las innovaciones exitosas. Es posible influir en la ruta de las nuevas tecnologías en la medida que se comprenden los aspectos técnicos que las hacen posibles y las relaciones sociales que les dan vida; esto implica abordar desde el tipo de necesidad que motiva la creación de un aparato, hasta los apoyos que recibe y la competencia que debe enfrentar para adoptarse exitosamente.

**iii) Toda tecnología implica ventajas y riesgos.** La creación de un nuevo aparato, o material, surge de la idea de aprovechar sus propiedades para realizar una función inédita, resolver un problema existente o hacer más barata una función previa; ahí radica su razón de ser. Pero las características novedosas de la nueva tecnología no se limitan a las interacciones útiles o positivas, con frecuencia tienen efectos no deseados que pueden ser dañinos para diferentes sectores sociales. Los riesgos de las innovaciones van desde lo técnico (efectos nocivos para obreros, consumidores o al medio ambiente) a lo social (problemas éticos en su desarrollo o su uso, generación de desempleo al desplazar tecnologías previas), pero no podemos caer en la falsa solución de ponerlos en una balanza pues generalmente son diferentes sectores los que reciben los beneficios y los que asumen los peligros. La clave radica en encontrar las condiciones para que una sociedad decida si adopta o no una tecnología, así como para definir la mejor ruta para el uso seguro de las tecnologías emergentes.

**iv) Los relatos sobre los aspectos sociales le dan sentido al tema ante el público.** Las personas difícilmente se identifican con temas desconocidos para ellas: necesitan encontrar un vínculo con sus ideas, experiencias y conocimientos previos para apropiarse de elementos científico-tecnológicos emergentes. Aunque las explicaciones lógicas sobre el comportamiento de la naturaleza o el funcionamiento de aparatos pueden ser interesantes, se obtienen resultados más importantes a través de narraciones capaces de emocionar al público. En la medida que se estimulen las emociones del público se podrá despertar su interés por el tema y lograr una mayor permanencia de la información en el cerebro, tal como discutimos en el capítulo 2 (p. 42).

### **La influencia del tiempo y otras variables**

Aparte de las condiciones teóricas que acabamos de revisar, el estudio de los casos a través del tiempo nos muestra otras tendencias. La evolución temporal señala un aumento progresivo en el número de estrategias disponibles para acercar a la sociedad a las NT, así como en la profundidad y complejidad con que se aborda la información. Se pasa de una visión inicial muy plana a discusiones un poco más complejas conforme avanza el tiempo aunque, como ya hemos señalado, la gran mayoría de los materiales (incluso los recientes) se quedan lejos de fomentar una discusión más crítica y rica de los diferentes aspectos de las NT.

El modelo de divulgación usado por los diferentes proyectos también exhibe un avance en su riqueza y complejidad, al abrir espacio para un mayor número de acciones tipo diálogo aunque no se acaba por completo con la comunicación del modelo de déficit. Esto es reflejo del avance en experiencia y capacidad por parte de los integrantes de las estrategias, incorporando en su trabajo elementos más recientes de la discusión sobre comunicación pública de la Cyt; sin embargo no se alcanzó un punto de participación social más rica al grado de lograr influir en políticas públicas o en la labor de los investigadores. Las estrategias de divulgación analizadas no contribuyen a salvar la desconexión entre los intereses de la sociedad, que pueden manifestarse en algunos proyectos de divulgación, y la ruta de avance de las NT.

En contraste el análisis en términos cronológicos no muestra una variación relevante para las miradas y los enfoques manifiestos en los productos; estos dos puntos se mantienen prácticamente iguales desde el inicio hasta el final del periodo analizado. La influencia en estas categorías, más que en el avance del tiempo, se puede encontrar en las personas y organizaciones que impulsaron los proyectos. Los divulgadores profesionales son más

proclives a buscar el deleite inherente a la mirada artístico-cultural, mientras que los investigadores tienen una mayor tendencia hacia la propaganda; buscan convencer al público para que respalde sus intereses. Parece que los primeros tienen un mayor énfasis en el proceso de divulgación y la forma de involucrar a las personas en la comunicación, mientras que los segundos se centran en lo que quieren “meter” a la cabeza de las personas.

En cuanto a la influencia de organizaciones en el enfoque manejado encontramos que las acciones promovidas desde el gobierno e instituciones privadas relacionadas con las NT muestran un claro sesgo positivo – en Utopía o avance posible: no se analiza el entorno social en que surgen las nano ni se cuestiona la legitimidad social de la ruta de su avance, se les presenta para una aceptación acrítica. De forma semejante ubicamos la perspectiva de museos y equipos de divulgación que, si bien de entrada no parecen tener un interés particular en el avance de las NT, evitan temas controvertidos por el deseo de renovar el financiamiento que recibieron para su trabajo. Tal es el caso de NISE Net (en Estados Unidos) que difícilmente habría recibido más recursos de la NSF en caso de generar polémica en su discusión de las NT; o bien de Ciencia Pumita y el Museo de Ciencias de la U.A.Z. (en México) que apoyaron sus proyectos con financiamiento CONACYT y también se muestran muy cuidadosos en su abordaje del tema. Incluso cuando los organismos que otorgan el financiamiento no establecen una línea de contenido explícita para lo que se puede y no se puede discutir, los proyectos mismos se alinean con la visión de sus patrocinadores; refuerzan la hegemonía en la perspectiva social de las NT.

### **La comparación entre los tres países**

El análisis de las acciones en diferentes países nos permite percibir ciertas tendencias comunes; como un mayor liderazgo en las estrategias por parte de expertos técnicos, proporciones semejantes entre el uso de acciones tipo déficit y tipo diálogo, así como el predominio de ciertos temas en la discusión y el abordaje de los riesgos (o su ausencia). Pero para enriquecer el estudio, podemos encontrar distinciones trascendentes en los tres casos.

El mayor avance –en términos cuantitativos y cualitativos- para la divulgación de NT se encuentra en Estados Unidos, gracias a dos factores interrelacionados: la preocupación por “proteger” la inversión multimillonaria de la NNI y la claridad en la planeación y organización de estrategias de gran calado. La semilla para esta ventaja surge de los primeros proyectos de investigación que, en el contexto del programa de “impactos más amplios”, hicieron divulgación a través de la colaboración entre especialistas en NT y divulgadores

profesionales. Más adelante, con el financiamiento recibido en los grandes proyectos de NISE Net y NNIN, se incorpora el aporte de investigadores sociales y la retroalimentación de diferentes sectores del público para moldear sus estrategias con un mayor grado de madurez: se trasciende una visión técnica/paradigmática para construir una narrativa integral capaz de incorporar lo científico-tecnológico a la par de lo social.

Sin embargo, como ya señalamos, en Estados Unidos no existe una discusión social completamente libre sino que está enmarcada en lo que el gobierno considera válido dentro de las implicaciones sociales de las NT. Y aquí se debe destacar que se habla de implicaciones sociales, que dan por sentada la existencia y la forma de estas tecnologías emergentes, en vez del panorama más amplio de los aspectos sociales. Por mencionar algunos ejemplos, no se analiza la legitimidad de la inversión que se realiza en nanotecnologías, la elección de la ruta específica a seguir (en lo que entra la ausencia del papel histórico de Eric Drexler en la discusión) ni la participación de la sociedad en la regulación de los nuevos avances. Queda entonces la divulgación estadounidense de NT, en términos generales, como un conjunto de esfuerzos para validar y legitimar el camino que ya se transita en la materia.

España, sin tener estrategias nacionales para articular los esfuerzos de divulgación de NT en el periodo analizado, en la práctica cuenta con varias colaboraciones que le empiezan a dar una mayor relevancia pública al tema; a partir de la interacción de esfuerzos previos con diferentes sectores surgen oportunidades de colaboración para crecer y potenciar los alcances de las estrategias. Por citar un ejemplo: el trabajo de la exposición “Un paseo por el nano mundo” y el libro “La nanotecnología” propiciaron la interacción de Pedro Serena, líder del primer proyecto y autor del segundo, con la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) para llevar a una colaboración de la que surgió la serie de videos “¿Qué sabemos de nanotecnología?” que se transmiten por Televisión Española y están disponibles a través del portal youtube.

Entonces, gracias a este tipo de colaboraciones, la divulgación de NT intrínsecamente española cobra cierto ímpetu de abajo hacia arriba; en especial con el desarrollo de redes nacionales que empezaron a trabajar al respecto en los últimos años. Además, la influencia de los proyectos de la Unión Europea (UE) le otorga una dimensión de participación ciudadana que no se tendría de otra manera: NanOpinion funcionó como un indicador de la postura social para incorporarla –junto a la de otros países- en las políticas de la UE respecto a NT. Esta experiencia no sólo sirvió por su impacto directo, en el público y el rumbo de la investigación, sino que ayudó a

perfilar nuevas estrategias de divulgación como espacios de participación ciudadana para recabar las ideas, preocupaciones y expectativas de los españoles con miras a incidir en el rumbo nacional de las NT.

De los tres países México puede considerarse a la zaga en divulgación de NT, toda vez que no existen ni programas ni financiamiento específico para su avance a nivel nacional; además que sus estrategias aún están desarticuladas y avanzan más por casos específicos de convicción personal -como representa el esfuerzo de Noboru Takeuchi- que por una estructura específica que apoye y propicie su desarrollo. En este país aún son muy escasas las colaboraciones entre investigadores y divulgadores profesionales y tampoco existen colaboraciones interinstitucionales para potenciar el avance de la divulgación de NT.

En términos generales el contenido de las estrategias mexicanas refleja un interés por una alfabetización técnica que permita al público comprender las bases de las NT para aceptar sus productos y respaldar el trabajo de investigación que llevan a cabo. Esta situación legítima y reproduce las condiciones existentes para el avance de estas tecnologías emergentes, en gran medida con criterios establecidos desde países centrales. Se marcan rutas muy bien establecidas que, de manera implícita, dejan fuera la posibilidad de una participación social para moldear lo que hacen las nanotecnologías en México. Ante la ausencia de un plan nacional específico, se deja la confianza en mantener las cosas tal como son: con científicos y empresarios definiendo cuál es el mejor camino a seguir, independientemente de lo que la sociedad necesita para mejorar sus condiciones de vida.

Si buscamos sintetizar el análisis de los tres países en términos de los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI) veremos condiciones claramente distintas para cada contexto. La divulgación de NT que se realiza en Estados Unidos refleja un proyecto con un rumbo bien claro: la NNI establece una visión de largo plazo, asume el liderazgo y articula los esfuerzos de grandes centros de investigación públicos, académicos y privados. Además, el proyecto nacional para el avance de las NT contempla la participación de científicos sociales y de diferentes sectores en la discusión de las implicaciones sociales del tema; dando lugar a una comunicación para legitimar su trabajo pero que establece límites en cuanto a los ámbitos en que realmente se puede influir. A final de cuentas la divulgación forma parte relevante de la estrategia para el avance de las NT, la cual a su vez encaja en el entramado institucional dentro del proyecto nacional de desarrollo.

En España las acciones de divulgación no reflejan ni una visión de conjunto para el avance nacional de las NT, por la misma ausencia de una estrategia explícita, ni la articulación de los diferentes tipos de organizaciones

inherentes al SNI. Se observa una mezcla que busca alfabetizar sobre el tema de forma general y, en algunos casos, dar a conocer áreas particulares en las que científicos españoles realizan avances significativos. En última instancia no se identifica la comunicación pública de las NT como un proceso para hacer partícipe a la sociedad del avance del tema en el país, ni siquiera para legitimarlo, sino para mantenerla al tanto. Ahora bien, de forma paralela aunque minoritaria en términos del total de actividades de divulgación, se realizan procesos –como NanOpinion- que desde la Unión Europea responden a un proyecto para el desarrollo de las NT a largo plazo, buscan una participación pública en la construcción del tema y se insertan en un proyecto de desarrollo; sin embargo hasta 2013 su papel era marginal, aunque recientemente –con el programa para investigación e innovación Horizonte 2020- este tipo de acciones han crecido sustancialmente.

México coincide con España en cuanto a las condiciones de falta de estrategia y visión nacional para las NT, lo cual se refleja en una divulgación que busca dotar de conocimientos básicos para reproducir las condiciones definidas a nivel internacional; es decir, no hay procesos que busquen discutir si las NT son buenas para México y, de ser así, cuáles serían los aspectos a trabajar para que ayuden a mejorar las condiciones de vida en el país. Lo que ocurre es que se acepta el sistema tecnológico emergente tal cual es, con un rumbo definido en el exterior, y se plantea la necesidad de subirse a la ola tecnológica para no quedarse atrás pero sin tener una visión concreta de cómo aportará al desarrollo nacional. Esto surge por las condiciones ya revisadas de un SNI trunco en que no existe la articulación necesaria para que los diferentes sectores relevantes definan las mejores condiciones para el avance de la CyT en México. Se termina así con una postura funcional a los intereses planteados por organismos internacionales, gobiernos externos y grandes empresas.

Cuando los esfuerzos de divulgación sólo replican lo que ya se hace desde el centro, reproduciendo y legitimando su visión, cabe cuestionar la necesidad de una divulgación local de las NT; en todo caso bastaría con una buena traducción de lo que ya se hace en otros países. Para realmente dar legitimidad a la discusión social del tema, y al mismo proyecto nacional de CyT para el desarrollo, la divulgación debe responder a las condiciones sociales para –en los términos descritos por Sunkel (2011, p. 129)- hacer partícipe a la sociedad en la definición del rumbo de la actividad científico-tecnológica como un esfuerzo permanente y socialmente necesario.

## La profunda marca de las ausencias

Gran parte del análisis de un proceso de divulgación se fundamenta en las cosas que se dicen y la forma en que se presentan, pero hay más cosas que podemos sacar del estudio. Muchas veces las cosas que se callan, o se ocultan, pueden llevarnos a hallazgos tan significativos como los mismos puntos de énfasis explícito en la discusión.

“En su mejor forma, la comunicación de la ciencia (...) intenta retratar la verdad. Los divulgadores lo hacen al explicar cómo funciona un fenómeno natural, o resaltando cómo los científicos aprendieron algo nuevo. Pero la forma en que se retrata esa verdad -con los aspectos incluidos y excluidos- depende de las intenciones del autor.” (Borel, 2015)

Vale la pena tomarnos un momento para hablar de las ausencias en la divulgación de NT. Al contar con una muestra relativamente amplia de estrategias de divulgación se consigue tener matices muy variados en cuanto a posturas y temas abordados, sin embargo la tendencia general muestra tres huecos relevantes.

En primer lugar resalta la ausencia en la discusión del papel histórico que desempeñó Eric Drexler y el contraste con la mitificación de la figura de Richard Feynman, muy identificada como parte de la versión canónica de la historia de las NT. No pretendemos aquí negar la importancia de la visión de Feynman para inspirar muchos avances en el trabajo de la miniaturización tecnológica, sin embargo en su momento la conferencia *There's plenty of room at the bottom* no tuvo tanto impacto como se nos quiere hacer creer a través de múltiples productos de divulgación. En contraste, está bien documentada la influencia que tuvo Drexler a través de publicaciones académicas y de divulgación para inspirar a científicos, empresarios y políticos a apostar por el avance de este sistema emergente en la década de 1980 y 1990; sin embargo también es claro el temor que su idea de los nanobots auto-replicantes generó, sobre todo en círculos no especializados, llegando a especular sobre la posibilidad de una plaga gris que podría acabar con la civilización. Independientemente de la posterior discusión técnica que estableció la imposibilidad de tales avances, la simple polémica implícita a las ideas de Drexler fue suficiente para dejarlo fuera de la discusión en la mayor parte de las estrategias.

De la mano de este temor a la polémica, con la preocupación heredada de los problemas públicos de los organismos modificados genéticamente y en la tónica de la “fobia a la nanofobia” a la que hicimos referencia en el tercer capítulo, encontramos la segunda ausencia importante: la mayoría de los proyectos quieren mantenerse tan alejados como sea posible de la discusión de los riesgos de las NT. Es como si no se quisiera “manchar” la opinión pública al respecto con efectos no deseados para evitar el riesgo de rechazo social para estos avances. Se trata una ruta que busca “proteger” a la inversión y el consumo en relación con productos de NT pero que a la

larga los expone aún más a una respuesta negativa, por la falta de confianza que la comunicación sesgada puede generar en diferentes sectores sociales.

La existencia de riesgos es una realidad inherente a toda tecnología de utilidad general: no hay casos libres de riesgos y esto es especialmente cierto para tecnologías emergentes. La experiencia pasada con avances como la radiactividad, la energía nuclear y los organismos modificados genéticamente indica que lo mejor que se puede hacer es estudiar los riesgos lo antes posible para entenderlos y enfrentarlos de forma eficaz; y, por otra parte, una discusión abierta y honesta -a través de la divulgación- permitirá a la sociedad tomar en cuenta los peligros a los que se expone para decidir si adopta un avance y, en su caso, saber cómo aprovecharlo de la forma más segura posible. La opción de omitir y esconder el tema de riesgos no hace más que complicar las cosas a largo plazo y abrir la puerta para reacciones públicas negativas.

Finalmente, en la que quizá es la marca más profunda, nos encontramos con la ausencia de una discusión sólida sobre los intereses y pugnas en el desarrollo de las nanotecnologías. Los científicos y tecnólogos son descritos casi como un conjunto homogéneo de investigadores que trabajan en laboratorios genéricos en busca del bien de la humanidad. No decimos aquí que estas personas no deseen lograr cosas con un amplio beneficio social, pero se debe reconocer que trabajan para empresas, universidades y centros públicos con agendas que responden a intereses de quienes financian su trabajo; y los mismos investigadores tienen motivaciones más allá del conocimiento puro, desde el reconocimiento de sus colegas hasta las ganancias económicas.

Más del 90% de los trabajos no se detienen a preguntarse ¿nanotecnologías para qué? y ¿para quién? sino que se quedan con una visión ingenua del beneficio común sin detenerse a discutir las cosas a más detalle. Como ejemplo podemos señalar que gran parte de los avances nano, disponibles actualmente en el mercado, surgen de las industrias química, cosmética y electrónica, cuyo trabajo en NT no lo mueve un altruista interés por la humanidad sino una incansable búsqueda de ganancias. En una idea relacionada: dentro de la investigación que se hace con recursos públicos hay mucho trabajo sobre preocupaciones sociales latentes -como potabilización de agua, problemas de salud, producción de energía- pero también se cuelean intereses privados para crear productos suntuarios que acaban siendo en parte subsidiados por todos para que sólo reducidas élites puedan aprovecharlos. Aquí las estrategias rara vez cuestionan quién define las prioridades, a quién le responde y qué se hace para supervisar su responsabilidad social.

La falta de un abordaje crítico sobre los aspectos sociales de las NT exhibe la ausencia de una postura de los divulgadores frente al tema o bien un conformismo con el orden social vigente; en todo caso, establece una discusión que refuerza las condiciones hegemónicas del trabajo científico-tecnológico y reproduce las relaciones sociales de jerarquía, autoridad, poder o control en los términos que planteó Avis (1981) al referirse a la supuesta neutralidad de la enseñanza técnica. En última instancia la gran mayoría de los proyectos de divulgación de NT exhiben una mínima reflexión sobre los cambios que estas tecnologías pueden detonar en una sociedad, sea para mejorar o empeorar sus condiciones de vida, y la forma en que estos se relacionan con diferentes sectores sociales. Carecen de una visión de desarrollo que los soporte y les dé sentido.

### **Un panorama más amplio**

En última instancia, más allá de su innegable trascendencia científica, comercial y social, las nanotecnologías no son para nosotros la referencia última del comportamiento de los tres países. El caso representa una muestra relevante de la relación entre ciencia y sociedad; en particular de los procesos de comunicación que le sirven como cimientos. Su trascendencia crece con respecto a otros casos -como energía nuclear o biotecnología- en la medida que incorpora a especialistas de un rango más amplio de disciplinas, para discutir avances con impacto en un gran número de sectores sociales.

En un afán de englobar las conclusiones que se han desarrollado en este apartado podemos señalar que la discusión de los aspectos sociales de la CyT aún se encuentra en pañales; muchos divulgadores aún no pueden o no quieren reconocer esta cara fundamental de las NT. En los términos planteados en el apartado anterior, las estrategias analizadas exhiben la falta de una visión integral que oriente la discusión pública del tema; encontramos una discusión (o promoción) de las NT -o de toda la CyT- que resultan valiosas en sí mismas y no como parte de una transformación social. Se cae así en una postura “neutral” que solo exhibe conformidad con las cosas tal como son y la ruta que ya se ha definido.

Esto resulta de una combinación de falta de formación adecuada para un análisis socio-histórico del tema (y la narrativa que esto demanda), la influencia de intereses de las organizaciones que promueven, apoyan y financian las estrategias, así como la falta de interacción con organizaciones sociales interesadas en llevar la discusión pública a niveles más profundos. Hasta ahora la articulación social es una asignatura pendiente para la

mayoría de las estrategias, se discute lo que los expertos desean abordar y en muy pocos casos se busca responder a las inquietudes de diferentes sectores. De hecho la divulgación parece pensada mucho más para individuos separados, para mantenerlos al tanto y buscar su apoyo, que para organizaciones con la capacidad de aglutinar una importante fuerza y representatividad social para incidir en la ruta de los nuevos avances.

En términos generales no se muestra que la sociedad tenga un rol relevante en la definición del camino de las NT, porque simplemente no se discute la opción de decidir. Pareciera que el camino de los avances científico-tecnológicos debe definirse solo por expertos, sin tomar en cuenta las necesidades y preocupaciones de la sociedad que apoya su trabajo. Entonces, el panorama obtenido por el estudio sugiere que se busca que los diferentes actores y organizaciones entiendan a las NT, se enteren de sus avances, estén dispuestos a usarlas y apoyarlas, pero no llega a mostrarles la posibilidad de participar en la definición de su rumbo futuro. Así, los productos de divulgación se convierten en herramientas de propaganda que refuerza la estructura institucional en cuanto a CyT; acciones funcionales a los intereses de los sectores con mayor poder, que refuerzan y reproducen el orden establecido.

Sin embargo, no todo ha sido una ruptura entre lo técnico y lo social; existen experiencias en que la interacción entre especialistas de NT con divulgadores profesionales permite trascender una visión limitada a lo técnico para -de forma conjunta con el público- construir una perspectiva de lo que ha sido y lo que puede ser a futuro la trayectoria de interacción entre NT y sociedad. En cada país se encuentran estrategias, un tanto aisladas, que buscan construir nuevas relaciones con diferentes sectores sociales para abrir un camino para que empiecen a hacerse escuchar en la construcción de los sistemas científico-tecnológicos emergentes. Las voces críticas empiezan a hacerse escuchar y, aunque de forma esporádica, se empieza a intentar discutir el cambio.

La discusión social de la CyT no puede limitarse a lo que ciertas organizaciones, como el gobierno, las grandes corporaciones o los investigadores, quieren abordar; es necesario incorporar las preocupaciones de diferentes sectores sociales para tomarlas en cuenta en el rumbo a seguir. Sin embargo, la capacidad de definir el rumbo de los nuevos sistemas científico-tecnológicos -y sus correspondientes paradigmas tecnoeconómicos- es una forma de poder en la medida que determina la forma de vida de las personas, organizaciones y sociedades que los adoptan. Se trata de un poder que difícilmente dejarán ir voluntariamente las personas y organizaciones que lo ostentan.

El grueso de la divulgación de las NT se orienta a promover las bondades de la nueva ola científico-tecnológica sin cuestionar la forma en que han avanzado, es decir, sin alterar el orden socio-económico vigente. Esto solamente legitima y reproduce el orden establecido, le roba a la sociedad la oportunidad de usar estas tecnologías emergentes como palanca de cambio. En términos generales los procesos de divulgación de las NT, así como en los casos de muchos otros temas en CyT, no detonan transformación alguna en la matriz institucional de una sociedad: exhiben la ausencia de un proyecto de desarrollo.

Ante esto se vislumbra un reto mucho mayor que implica a la divulgación pero no se limita a ella; romper las barreras impuestas por los intereses de diferentes organizaciones para potenciar un proceso de apropiación social de la CyT: capaz de articular la colaboración entre diferentes sectores interesados para detonar deliberaciones críticas que conduzcan a una acción transformadora. Llevar la comunicación, que representa un eje de la creación y avance permanente de la ciencia, a una condición crítico-creativa más amplia que haga protagonista a la sociedad en la construcción de los nuevos avances y, con ellos, nuevas formas de mejorar sus condiciones de vida.

## 7. Bibliografía

- Aboites, Jaime (2009), Empresas globales y patentes, en *Globalización, conocimiento y desarrollo*, pp. 261–274, México, Instituto de Investigaciones Económicas UNAM y M.Á. Porrúa.
- Albuquerque, Eduardo da Motta e (2007), Inadequacy of technology and innovation systems at the periphery, *Cambridge Journal of Economics*, 31(5), 669–690.
- Alcibar, Miguel (2004), La divulgación mediática de la ciencia y la tecnología como recontextualización discursiva, *Anàlisi: Quaderns de comunicació i cultura*, (31), pp. 43–70.
- \_\_\_\_\_ (2009), Comunicación pública de la tecnociencia: más allá de la difusión del conocimiento, *Zer: Revista de estudios de comunicació = Komunikazio ikasketen aldizkaria*, (27), pp. 165–188.
- Alpert, Carol Lynn (2009), Broadening and Deepening the Impact: A Theoretical Framework for Partnerships between Science Museums and STEM Research Centres. *Social Epistemology*, 23(3-4): 267–281.
- Amendola, Mario y Gaffard, Jean-Luc (1988), La dynamique économique de l'innovation.
- American, Scientific (2002), *Understanding Nanotechnology*, New York, Grand Central Publishing.
- Andorno, Roberto y Biller-Andorno, Nikola (2014), The risks of nanomedicine and the precautionary principle, 131–145, en Gordijn, B. y Cutter, A. M., *In Pursuit of Nanoethics*, The International Library of Ethics, Law and Technology, Springer Netherlands.
- Andreev, A. y Butyrin, P. (2011), Technoscience as an innovative social project, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 81(2), pp. 75–80.
- Arellano, Antonio (1999), *La producción social de objetos técnicos agrícolas*, Toluca, UNAM.
- Arocena, Rodrigo y Sutz, Judith (2002), *Sistemas de innovación y países en desarrollo*, Aalborg University, Department of Business Studies, the SUDESCA Project.
- \_\_\_\_\_ (2003), Inequality and innovation as seen from the south, *Technology in Society*, 25(2), 171–182.
- \_\_\_\_\_ (2013), Innovación y democratización del conocimiento como contribución al desarrollo inclusivo, 19–34, en Dutrénit, G. y Sutz, J. (Eds.), *Sistemas de innovación para un desarrollo inclusivo. La experiencia latinoamericana*, México, FCCYT.
- Atkinson, William Illsey (2005), *Nanocosm: Nanotechnology and the Big Changes Coming from*

*the Inconceivably Small*, New York, AMACOM.

- Avis, Richard (1981), Social and technical relations: the case of further education, *British Journal of Sociology of Education*, 2(2), pp. 145–161.
- Bates, Thomas (1975), Gramsci and the theory of hegemony, *Journal of the History of Ideas*, 36(2), pp. 351–366.
- Batt, Carl (2011), Too small to think (about), *Materials Today*, 14(6): 238.
- Bawa, A. y Anilakumar, K. (2013), Genetically modified foods: safety, risks and public concerns—a review, *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1035–1046.
- BCC, Research (2014), Nanotechnology: A Realistic Market Assessment. <http://www.reportlinker.com/p096617-summary/Nanotechnology-A-Realistic-Market-Assessment.html> [Consultado el 15 de marzo de 2016].
- Besley, John (2010), Current Research on Public Perceptions of Nanotechnology. *Emerging Health Threats Journal*, 3(0).
- Bell, Larry (2009), Engaging the Public in Technology Policy: A New Role for Science Museums. *Science Communication*, 29(3): 386–398.
- Bensaude-Vincent, Bernadette (2012), Nanotechnology: a new regime for the public in science? *Scientiae Studia*, 10(SPE), pp. 85–94.
- Bermúdez, Guillermo (2000), La dimensión social y humana de la divulgación, en *Antología de la divulgación de la ciencia en México*, pp. 20–31, México, UNAM.
- Bernal, John (1979), *La ciencia en la historia*. UNAM.
- Berruecos, Ma. de Lourdes (1998), Análisis del discurso y divulgación de la ciencia, *Argumentos*, (29), pp. 21–35.
- Bertelsen, Pernille Scholdan y Müller, Jens (2001), *Who Are the Ignorant?: Current Transformations in Tanzania Indigenous Technology Systems*, Aalborg Universitetsforlag.
- Berube, David (2007), Communicating nanotechnological risks, 245–251, en Roco y Bainbridge, *Nanotechnology: Societal Implications—Individual Perspectives*, NSF.
- Berube, David, Faber, Brenton, Scheufele, Dietram, Cummings, Christopher, Gardner, Grant, Martin, Kelly, Martin, Michael y Temple, Nicholas (2010), Communicating risk in the 21st Century: the case of Nanotechnology. Tomado de

- <http://www.stepto.com/assets/htmldocuments/Communicating%20Nano%20Risk%2020100218.pdf> [10 de diciembre de 2013].
- Bhushan, Bharat (2012), Nanotechnology, 1841–1850, en Bhushanm, Bharat, *Encyclopedia of nanotechnology*, New York, Springer.
- Bianchi, Carlos (2009), Una mirada histórica sobre la sociedad y economía del conocimiento, en *América Latina y el Caribe en la Economía y Sociedad Del Conocimiento: Una Revisión Crítica a Sus Fundamentos y Políticas*, México: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Boltzmann, Ludwig (1895), On Certain Questions of the Theory of Gases. *Nature*, 51(1322): 413–415.
- Borel, Brooke (2015), The Problem with Science Journalism: We’ve Forgotten That Reality Matters Most, *The Guardian*, <http://www.theguardian.com/media/2015/dec/30/problem-with-science-journalism-2015-reality-kevin-folta?> [1 de marzo 2016].
- Bresnahan, Timothy y Trajtenberg, M. (1995), General Purpose Technologies ‘Engines of Growth’? *Journal of Econometrics*, 65(1), pp. 83–108.
- Bruner, Jerome (1991), The narrative construction of reality, *Critical Inquiry*, 18(1), pp. 1–21.
- Bruner, Jerome (2009), *Actual minds, possible worlds*, Harvard University Press.
- Bubela, Tania, Nisbet, Matthew, Borchelt, Rick, Brunger, Fern, Critchley, Cristine, Einsiedel, Edna, Geller, Gail, Gupta, Anil, Hampel, Jürgen, Hyde-Lay, Robyn, Jandciu, Eric, Jones, Ashley, Kolopack, Pam, Lane, Summer, Lougheed, Tim, Nerlich, Brigitte, Ogbogu, Ubaka, O’Riordan, Kathleen, Ouellette, Colin, Spear, Mike, Strauss, Stephen, Thavaratnam, Thushaanthini, Willemse, Lisa and Caulfield, Timothy (2009), Science communication reconsidered, *Nature Biotechnology*, 27(6), pp. 514–518.
- Buesa, Mikel (2003), Ciencia y tecnología en la España democrática: la formación de un sistema nacional de innovación.
- Burns, T., O’Connor, D. y Stocklmayer, S. (2003), Science communication: a contemporary definition, *Public Understanding of Science*, 12(2), pp. 183–202.
- Buttel, Frederick (1993), Ideology and agricultural technology in the late twentieth century: biotechnology as symbol and substance, *Agriculture and Human Values*, 10(2), 5–15.
- Buzea, Cristina, Pacheco, Ivan y Robbie, Kevin (2007), Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity, *Biointerphases*, 2(4): MR17–MR71.
- Calvo, Manuel (1997), Objetivos de la divulgación de la ciencia. *Revista Latinoamericana de*

*Comunicación Chasqui*, (60), pp. 38–42.

Casas, Rosalba y Dettmer, Jorge (2003), Hacia la definición de un paradigma para las políticas de ciencia y tecnología en el México del siglo XXI, en *Perspectivas y desafíos de la educación, la ciencia y la tecnología*, pp. 197–270, México, UNAM.

Casas, Rosalba, de Fuentes, Claudia, Torres, Arturo y Vera-Cruz, Alexandre (2013), Estrategias y gobernanza del sistema nacional de innovación mexicano: retos para un desarrollo incluyente, 19–34, en Dutrénit y Sutz, *Sistemas de innovación para un desarrollo inclusivo. La experiencia latinoamericana*, México, FCCYT.

Castells, Manuel (1999), *La era de la información*, México, Siglo XXI editores.

Castro, Fidel y Pérez, Hugo (2006), Globalización, ciencia y desarrollo. Comprender el desafío a partir de una experiencia latinoamericana, en *Innovaciones creativas y desarrollo humano*, Italia, Ediciones Trilce.

Chacon, C., Estevao, V., Narros, C., Correia, A. y Serena, P. (2011), *Nanotechnology in Spain: current situation and future challenges*.

Chittenden, David (2011), Roles, opportunities, and challenges—science museums engaging the public in emerging science and technology, *Journal of Nanoparticle Research*, (13), pp. 1549–1556.

Chamizo, Juan (2000), Apuntes sobre la evaluación de la divulgación de la ciencia, en *Antología de la divulgación de la ciencia en México*, pp. 83–93, México, UNAM.

Ciccotti, Giovanni, Cini, Marcelo y de Maria, Michelangelo (1979), La producción de la ciencia en la sociedad capitalista avanzada, en *Economía política de la ciencia*, pp. 73–104, México: Nueva Imagen.

Científica (2011), *Global Funding of Nanotechnologies – 2011 Edition*. Disponible en <http://www.cientifica.com/research/market-reports/nanotech-funding-2011/> [19 de julio 2013].

Corner, Adam y Pidgeon, Nick (2012), Nanotechnologies and upstream public engagement. Dilemmas, debates and prospects?, 169–194, en Harthorn y Mohr, *The social life of nanotechnology*. Routledge studies in science, technology and society. New York: Routledge.

CONACYT (2014), Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Correa, Eugenia (2000), La Teoría General de Francois Perroux. *Comercio Exterior*: 1090–1098.

Crespi, Gustavo y Dutrénit, Gabriela (Eds.) (2014), *Science, Technology and Innovation Policies for Development*, Springer International Publishing.

Cypher, James (1990), Latin American structuralist economics: an evaluation, critique, and

reformulation, 41–65, en Dietz, James y James, Dilmus, *Progress toward development in Latin America: from Prebisch to technological autonomy*, Lynne Rienner Pub.

\_\_\_\_\_ (2007), Shifting developmental paradigms in Latin America. Is neoliberalism history?, 31–60, en Pérez, Esteban y Vernengo, Matías, *Ideas, Policies And Economic Development in the Americas*, Taylor & Francis.

\_\_\_\_\_ (2011), Mexico since NAFTA. Elite delusions and the reality of decline, *New Labor Forum*, 20(3), 60–69.

\_\_\_\_\_ (2014a), Institutional-structural impediments to National Innovation Systems in Latin America: A Veblenian Perspective, X International Symposium on Evolutionary Economics.

\_\_\_\_\_ (2014b), The origins of developmentalist theory: The empirically based, historically contextualized political economy of Furtado, *International Journal of Political Economy*, 43(4), 15–32.

Cypher, James y Dietz, James (2004), *The Process of Economic Development*. New York: Routledge.

\_\_\_\_\_ (2008), *The Process of Economic Development*, Taylor & Francis.

Cypher, James y Pérez, Aldo (2013), Instituciones y tecnología como factores clave en los proyectos nacionales del desarrollo: un análisis comparativo de Brasil y México, *Apuntes del CENES*, 32(56), pp. 105–138.

Dabat, Alejandro (2009a), Economía del conocimiento y capitalismo Informático (o Informacional). Notas sobre estructura, dinámica y perspectivas de desarrollo, en *Globalización, conocimiento y desarrollo*, pp. 57–75, México, Instituto de Investigaciones Económicas UNAM y M.Á. Porrúa.

\_\_\_\_\_ (2009b), Globalización, economía del conocimiento y nueva industria electrónica de exportación en México, *Problemas del Desarrollo*, 35(137).

David, Kenneth (2008), Socio-Technical analysis of those concerned with emerging technology, engagement, and governance, en David, K. y Thompson, P. , *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*, Boston, Elsevier/Academic Press.

Delgado, Raúl (2014), El dilema de la migración mexicana altamente calificada: ¿Circulación de cerebros o una nueva modalidad de dependencia?,

- Dicken, Peter (2007), *Global shift: mapping the changing contours of the world economy*, Guilford Press.
- Drexler, Eric (1981), Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78(9): 5275–5278.
- \_\_\_\_\_ (1987), *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Garden City, Anchor.
- \_\_\_\_\_ (2012), *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*, Public Affairs.
- dos Santos, Theotonio (1973), *Dependencia y cambio social*, Buenos Aires, Amorrortu Editores.
- Durant, John (1999), Participatory technology assessment and the democratic model of the public understanding of science, *Science and Public Policy*, 26(5), pp. 313–319.
- Echeverría, Javier (2003), *La Revolución Tecnocientífica*. Fondo de Cultura Económica.
- Edwards, Michael (2000), *Civil Society and Global Governance*.
- Einsiedel, Edna (2008), Public participation and dialogue, en *Handbook of public communication of science and technology*, pp. 172–184, London; New York, Routledge.
- Einstein, Albert (1905), Über Die von Der Molekularkinetischen Theorie Der Wärme Geforderte Bewegung von in Ruhenden Flüssigkeiten Suspendierten Teilchen, *Annalen der Physik*, 322(8): 549–560.
- Eisler, Matthew (2012), Perspective: Where Nano Came from, 9–18, en Priest, *Nanotechnology and the public: risk perception and risk communication*, Boca Raton, CRC Press.
- Elzinga, Aant y Jamison, Andrew (1995), Changing policy agendas in science and technology, en Jasanoff, Sheila et al., *Handbook of Science and Technology Studies*, pp. 572–592.
- Estrada, Luis (2002), La divulgación de la ciencia, *Ciencias*, 27, pp. 69–76.
- Fajnzylber, Fernando (1992), Industrialización en América Latina. De la ‘caja negra’ al ‘casillero vacío’. *Nueva Sociedad*, (118), 21–28.
- Fanfair, D., Desai, S. y Kelty, C. (2007), *The Early History of Nanotechnology*, disponible en [http://cnx.org/contents/025b69ff-13ae-421b-8ae1-25734ef7de73@1/The\\_Early\\_History\\_of\\_Nanotechn](http://cnx.org/contents/025b69ff-13ae-421b-8ae1-25734ef7de73@1/The_Early_History_of_Nanotechn) [24 de agosto de 2014].
- Feynman, Richard (1960), There’s plenty of room at the bottom, *Engineering and Science*, 23(5): 22–36.
- Flores Valdés, Jorge (1986), *La gran ilusión II. Los cuarks*, México, F.C.E.
- Foladori, Guillermo (1990), *Los medios en la acumulación de capital*, Montevideo, Ediciones de la Banda Oriental.

- \_\_\_\_\_ (2010), Las Nanotecnologías en contexto, *Sociología y tecnociencia: Revista digital de sociología del sistema tecnocientífico*, 2(0): 35–55.
- Foladori, Guillermo e Invernizzi, Noela (2013), Inequality gaps in nanotechnology development in Latin America, *Journal of Arts and Humanities*, 2(3), pp. 35–45.
- Foladori, Guillermo e Invernizzi, Noela (2012), Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe.
- Foladori, Guillermo y Záyago, Edgar (2010), What lies beneath: trade unions and the moratorium on the commercialisation of nanotechnologies, *Science Technology & Society*, 15(1): 155–168.
- Foray, Dominique (2004), *Economics of Knowledge*, MIT Press.
- Frank, Andre Gunder (1966), *The Development of Underdevelopment*. Boston, New England Free Press.
- Freeman, Chris (1995), The ‘National System of Innovation’ in historical perspective, *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), pp. 5–24.
- \_\_\_\_\_ (2001), A hard landing for the ‘New Economy’? Information Technology and the United States National System of Innovation, *Structural Change and Economic Dynamics*, 12(2), pp. 115–139.
- \_\_\_\_\_ (2012), *The Economics of Industrial Innovation*, Routledge.
- Freudenburg, William y Collins, Mary (2012), Public Responses to Nanotechnology. Risks to the Social Fabric?, 241–264, en Harthorn y Mohr, *The social life of nanotechnology*, Routledge.
- Furtado, Celso (1974), *Teoría y política del desarrollo económico*, Siglo XXI.
- \_\_\_\_\_ (1975), *El desarrollo económico: un mito*. México, Siglo XXI.
- \_\_\_\_\_ (1978), Acumulación y creatividad. Disponible en <http://lacer.lacea.org/handle/11362/10309>
- \_\_\_\_\_ (1999), *El capitalismo global*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Galán, Carmen (2003), ‘La Ciencia En Zapatillas’: análisis del discurso de divulgación científica, *Anuario de estudios filológicos*, XXVI, pp. 137–156.
- García, Miguel (2015), Sobre los talleres de ciencia recreativa, en Invernizzi y García, *Para jugar a ser científicos*.
- García, Miguel y Foladori, Guillermo (2015), Divulgación de Ciencia y Tecnología: los límites del enfoque técnico en las nanotecnologías, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias - 2015*, 12 (3), pp. 508-519.
- Giddens, Anthony (1997), *Las nuevas reglas del método sociológico*, Buenos Aires, Amorrortu Editores.

- Gilly, Adolfo y Roux, Rhina (2008), Capitales, tecnologías y mundos de la vida, en *Los condicionantes de la crisis en América Latina*, pp. 27–52, México.
- Goldstein, Bernard (2010), Scientific basis for the regulation of nanoparticles: Challenging Paracelsus and Pare, *UCLA Journal of Environmental Law & Policy*, 28: 7.
- Gómez, Javier (2012), La comprensión pública de la nanotecnología en España, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 7(20), pp. 177–207.
- \_\_\_\_\_ (2013), *Comprensión pública de la nanociencia y la nanotecnología. Informe de los resultados de un estudio Delphi*.
- Goncuoglu-Eser, Sezer (2004), Public attitudes toward genetically modified foods.
- Gordon, Robert (2000), *Does the 'New Economy' measure up to the great inventions of the past?* National Bureau of Economic Research.
- Gramsci, Antonio (2009), *La Política y el estado moderno*, Diario Público.
- Gross, Alan (1994), The roles of rhetoric in the public understanding of science, *Public Understanding of Science*, 3(1), pp. 3–23.
- Grueber, Martin y Studt, Tim (2013), 2014 Global R&D Funding Forecast. Tomado de [http://www.battelle.org/docs/tpp/2014\\_global\\_rd\\_funding\\_forecast.pdf](http://www.battelle.org/docs/tpp/2014_global_rd_funding_forecast.pdf) [31/10/2014].
- Guevara, Aline (2015), Visualizar Lo Invisible, UNAM.
- Haw, Mark (2005), Einstein's random walk, *Physics World*, 19–22.
- Heller, Michael (1997), The tragedy of the anticommons: property in the transition from Marx to Markets, *Harvard Law Review*, 111.
- Hilgartner, Stephen (1990), The dominant view of popularization: conceptual problems, political uses, *Social Studies of Science*, 20(3), pp. 519–539.
- Hirschman, Albert (1993), Enlaces, en *Desarrollo económico: the New Palgrave*.
- Ho, Shirley (2008), Value predispositions, communication, and attitudes toward nanotechnology: The interplay of public and experts, Cornell University.
- Horton, Leigha y Long, Stephanie (2010), *Alice in Nanoland*, NISE Net.
- Jaguaribe, Helio (2011), Por qué no se ha desarrollado la ciencia en América Latina, 95–115, en Sábado, *El Pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires, Ediciones Biblioteca Nacional.

- Johnson, Rebecca (2005), *Nanotechnology*, Minneapolis, Lerner Pub Group.
- Joly, Pierre-Benoit y Kaufmann, Alain (2008), Lost in translation? The need for ‘Upstream Engagement’ with nanotechnology on trial, *Science as Culture*, 17(3), 225–247.
- Jovanovic, Boyan y Rousseau, Peter (2005), General Purpose Technologies, en *Handbook of Economic Growth*, pp. 1181–1224, Elsevier.
- Katz, Jorge (2004), Market-oriented reforms, globalization and the recent transformation of Latin American innovation systems, *Oxford Development Studies*, 32(3), pp. 375–387.
- Key, Stephen (2013), 97 Percent of All Patents Never Make Any Money, *allbusiness.com/*, tomado de <http://www.allbusiness.com/legal/intellectual-property-law-patent/15258080-1.html>
- Kay, Cristóbal (1989), *Latin American Theories of Development and Underdevelopment*. Routledge.
- \_\_\_\_\_ (1999), Neoliberalismo y estructuralismo. Regreso al futuro, 284–305, en Lora Cam, Jorge y Mallorquín, Carlos, *Prebisch Y Furtado, El Estructuralismo Latinoamericano*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Kuhn, Thomas (1971), *La Estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica.
- Lage, Agustín (2006), Propiedad y expropiación en la economía del conocimiento, en *Innovaciones creativas y desarrollo humano*, Italia: Ediciones Trilce.
- Landes, David (2003), *The unbound Prometheus: technological change and industrial development in western Europe from 1750 to the present*, Cambridge University Press.
- Laurent, Brice (2012), Science museums as political places. Representing nanotechnology in European science museums. *JCOM: Journal of Science Communication*, 11(04): 6 p. available at [10 July 2013].
- Lewenstein, Bruce (1995), Science and the media, en Jasanoff, Sheila et al., *Handbook of Science and Technology Studies*, pp. 343–360, London, Sage.
- \_\_\_\_\_ (2005), What counts as a ‘Social and Ethical Issue’ in Nanotechnology?, *Hyle*, 11(1), 5–18.
- \_\_\_\_\_ (2013), Recreation in the public communication of science and technology, en *La recreación para la re-creación del conocimiento*, pp. 89–101, Zacatecas, SOMEDICYT.
- Lively, Erica, Conroy, Meredith, Weaver, David y Bimber, Bruce (2012), News media frame novel technologies in a familiar way. Nanotechnology, applications and progress, 223–240, en Harthorn y Mohr, *The social life of nanotechnology*, Routledge.

- Long, Norman (2007), *Sociología del desarrollo: una perspectiva centrada en el actor*, México, CIESAS.
- Lora Cam, Jorge y Mallorquín, Carlos (1999), *Prebisch y Furtado, el estructuralismo latinoamericano*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Lundval, Bengt-Åke (1992), *National Innovation System: Towards a theory of innovation and interactive learning*, London, Pinter.
- \_\_\_\_\_ (2007), National Innovation Systems—analytical concept and development tool, *Industry & Innovation*, 14(1), pp. 95–119.
- Macnaghten, Phil (2008), From Bio to Nano: learning the lessons, interrogating the comparisons, en David, K. y Thompson, P., *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*. Boston, Elsevier/Academic Press.
- Macnaghten, Phil (2010), Researching technoscientific concerns in the making: narrative structures, public responses, and emerging nanotechnologies, *Environment and Planning A*, 42(1): 23–37.
- Macnaghten, Phil, Davies, Sarah y Kearnes, Matthew (2015), Understanding Public Responses to Emerging Technologies: A Narrative Approach, *Journal of Environmental Policy & Planning*, pp. 1–19.
- Marx, Carlos (1972), *El Capital. Crítica de la Economía Política*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Maclurcan, Donald y Radywyl, Natalia (2012), Nanotechnology and Limits to Growth, en Macurcan y Radywyl, *Nanotechnology and global sustainability*, Boca Raton, CRC Press.
- Malik, Khalid (2002), Towards a Normative Framework: Technical Cooperation, Capacities and Development, 23–42, en Fukuda-Parr, S., Lopes, C., y Malik, K., *Capacity for Development: New Solutions to Old Problems*, Earthscan.
- Mallorquín, Carlos (1998), *Ideas e historia en torno al pensamiento económico Latinoamericano*, Plaza y Valdés.
- Marini, Ruy Mauro (1974), *Dialéctica de la dependencia*. México, Ediciones Era.
- Mariotti, Davide, Jackson, Micheal, Lewis, Elaine, Schulte, Thomas y Kurinec, Santosh (2008), Nanotechnology in education: Top-down and Bottom-up approach, 261–272, en Aung et al. *Innovations 2008. World innovations in engineering education and research*, iNEER.
- Maxwell, James (1965), The Scientific Papers, *CERN Document Server*.
- McDermott Will, & Emery (2014), *2013 Nanotechnology Patent Literature Review*, McDermott Will & Emery Nanotechnology Group.

- McHughen, Alan (2008), Learning from mistakes: missteps in public acceptance issues with GMOs, en David, K. y Thompson, P., *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*, Boston, Elsevier/Academic Press.
- Mellon, Margaret (2008), A view from the advocacy community, en David, K. y Thompson, P., *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*, Boston, Elsevier/Academic Press.
- Menéndez, Amador (2011), *Una revolución en miniatura: Nanotecnología al servicio de la humanidad*. Universitat de València.
- Merton, Robert (1968), *Social Theory and Social Structure*, Free Press.
- \_\_\_\_\_ (1973), *The sociology of science: theoretical and empirical investigations*, Chicago, University of Chicago Press.
- Metcalf, Stan y Ramlogan, Ronnie (2008), Innovation Systems and the Competitive Process in Developing Economies, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 48(2): 433–446.
- Mirowski, Philip (2011), *Science-Mart: privatizing american science*, Cambridge, Harvard University Press.
- Mokyr, Joel (2005), Long-term economic growth and the history of technology, en *Handbook of Economic Growth*, Elsevier.
- Mongillo, John (2007), *Nanotechnology 101*, Westport, Greenwood Press.
- Mowery, David (1998), The changing structure of the US National Innovation System: Implications for international conflict and cooperation in R&D policy, *Research Policy*, 27(6), pp. 639–654.
- Muñoz, Emilio (2001), The spanish system of research, 359–397, en Larédo y Mustar, *Research and Innovation Policies in the New Global Economy: An International Comparative Analysis*, Edward Elgar Publishing.
- Myrdal, Gunnar (1968), *Asian drama, an inquiry into the poverty of nations*.
- National Science Foundation (2014), *About the National Science Foundation*, tomado de <http://nsf.gov/about/> [26/10/2014].
- Negrete, Aquiles y Lartigue, Cecilia (2004), Learning from education to communicate science as a good story, *Endeavour*, 28(3), pp. 120–124.
- Negrete, Aquiles (2008), *La divulgación de la ciencia a través de formas narrativas*, Mexico, UNAM.
- \_\_\_\_\_ (2012), La comunicación de la ciencia a través de medios culturales narrativos: métodos

- cuantitativos y cualitativos para su evaluación, *Chasqui Revista Latinoamericana de Comunicación*, (119), pp. 43–53.
- Ngô, Christian y Van de Voorde, Marcel (2014), Risks and toxicity of nanoparticles, en *Nanotechnology in a Nutshell*, pp. 439–448, Paris, Atlantis Press.
- Nisbet, M. y Scheufele, D. (2009), What’s next for science communication? Promising directions and lingering distractions, *American Journal of Botany*, 96(10), pp. 1767–1778.
- NISE Net (2014), *About the NISE Network*, tomado de <http://www.nisenet.org/about> [13/05/2014].
- Noble, David (1979), *America by Design: Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford University Press.
- NNI (2014), *Nano Dashboard*, tomado de <http://nanodashboard.nano.gov/> [13/05/2014].
- NNIN (2014), *What is NNIN?*, tomado de <http://www.sei.nnin.org/about-us/what-nnin> [12/08/2014].
- Noble, David (1979), *America by design: Science, technology, and the rise of corporate capitalism*, Oxford University Press.
- OECD (1996), *The Knowledge-Based Economy*, Paris, tomado de <http://www.oecd.org/sti/sci-tech/1913021.pdf> [25 de marzo de 2013].
- \_\_\_\_\_ (1997), *National Innovation Systems*, París.
- \_\_\_\_\_ (2010), *The impacts of nanotechnology on companies policy insights from case studies*. OECD Pub. Disponible en <http://www.myilibrary.com?id=298558> [13 de septiembre 2013].
- \_\_\_\_\_ (2013), *Science, technology and industry scoreboard 2013*, Paris, OECD. Disponible en [http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/sti\\_scoreboard-2013-en](http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/sti_scoreboard-2013-en) [18 de noviembre 2013].
- Olivé, León (2007), *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento*, Fondo de Cultura Económica.
- Ortigoza, Rubén (2009), El andar de la nanotecnología. ¿México anda al parejo?, en Rivoir et al., *América Latina y el Caribe en la Economía y Sociedad Del Conocimiento: Una Revisión Crítica a Sus Fundamentos y Políticas*, México, CLACSO.
- OEI (2009), *La Nanotecnología en Iberoamérica, situación actual y tendencias*, Organización de Estados Iberoamericanos, tomado de <http://www.oei.es/salactsi/nano.pdf>
- Palmberg, Christopher, Dernis, Hélène y Miguet, Claire (2009), *Nanotechnology: An Overview Based on Indicators and Statistics*. Disponible en [http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/nanotechnology-an-overview-based-on-indicators-and-statistics\\_223147043844](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/nanotechnology-an-overview-based-on-indicators-and-statistics_223147043844) [20 de octubre

2014].

Pérez, Carlota (2001), Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil, *CEPAL Review*, 75, 115–136.

\_\_\_\_\_ (2005), *Revoluciones Tecnológicas Y Capital Financiero*. Siglo XXI.

Pérez Escatel, Aldo Alejandro (2012), *Competitividad y acumulación de capacidades tecnológicas: el caso de la industria manufacturera mexicana en un contexto de apertura comercial*. México: Universidad Autónoma de Zacatecas.

Perroux, François (1964), *L'économie Du XXème Siècle*. Paris.

Perrin, Jean (1909), Mouvement Brownien et Réalité Moléculaire, *Annales de Chimie et de Physique*, 18: 5–104.

Petsas, Iordanis (2003), The dynamic effects of general purpose technologies on schumpeterian growth, *Journal of Evolutionary Economics*, 13(5), pp. 577–605.

Phillips, Leigh (2012), Nanotechnology: Armed resistance, *Nature*, 488: 576–579.

PNUD (2001), *Informe sobre desarrollo humano 2001*, México, Ediciones Mundi-Prensa. Disponible en [http://hdr.undp.org/en/media/HDR\\_2001\\_ES.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2001_ES.pdf) [5/09/2012].

Popper, Karl (1962), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Editorial Tecnos.

Prebisch, Raúl (1986), El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas, *Desarrollo Económico*, 26(103), 479–502.

Priest, Susanna (1994), Mass media and the ultimate technological fix: newspaper coverage of biotechnology, *Southwestern Mass Communication Journal*.

\_\_\_\_\_ (2008), Biotechnology, nanotechnology, media, and public opinion, en David, K. y Thompson, P., *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*, Boston, Elsevier/Academic Press.

\_\_\_\_\_ (2012), *Nanotechnology and the public: risk perception and risk communication*, Boca Raton, CRC Press.

de Régules, Sergio (2002), Objetivo: La Alberca, en *Antología de la divulgación de la ciencia en México*, pp. 273–279, México, DGDC, UNAM.

Reynoso, Elaine (2012), La cultura científica en los museos en el marco de la educación informal, UNAM.

Riley, Dylan (2011), Hegemony, democracy, and passive revolution in Gramsci's, *California Italian Studies*,

2(2).

- Rivera, Miguel (2009), Cambio histórico mundial, capitalismo informático y economía del conocimiento. *Problemas del Desarrollo*, 36(141).
- Rivoir, Ana (2009), Aspectos sociológicos de la sociedad del conocimiento, en *América Latina y el Caribe en la economía y sociedad del conocimiento: una revisión crítica a sus fundamentos y políticas*, México, CLACSO.
- Roco, M. C., Williams, R. S. y Alivisatos, P. (2000), *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report: Vision for Nanotechnology in the Next Decade*, Springer.
- Roco, Mihail (2011), The long view of nanotechnology development: the national nanotechnology initiative at 10 Years, *Journal of Nanoparticle Research*, 13(2), pp. 427–445.
- Roco, Mihail, Harthorn, Barbara, Guston, David y Shapira, Philip (2011), Innovative and responsible governance of nanotechnology for societal development, *Journal of Nanoparticle Research*, 13(9): 3557–3590.
- Rogers, Ben, Adams, Jesse y Pennathur, Sumita (2011), *Nanotechnology: Understanding small systems*, Boca Raton, CRC Press.
- Rose, Hilary y Rose, Steven (1979), La herencia problemática: Marx y Engels sobre las ciencias naturales, en *Economía política de la ciencia*, pp. 33–48, México, Nueva Imagen.
- Rosenberg, Nathan (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press.
- Ryan, Johnny (2010), *A history of the internet and the digital future*, London, Reaktion Books.
- Sábato, Jorge y Mackenzie, Michael (1982), *La producción de tecnología: autónoma o transnacional*, México, Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales.
- Sábato, Jorge y Botana, Natalio (1968), La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina, *Revista de la Integración*, 1(3), pp. 15–36.
- Saldaña, Josep y Puentes, Víctor (2011), *Nanotechnology: Balancing the Promises*, Nanowiki.
- Salomon, Jean Jacques (1988), *L'écrivain public et l'ordinateur: mirages du développement*, Paris, Hachette.
- Sánchez-Mora, Carmen y Tagüeña, Julia (2011), Divulgación y formación en nanotecnología en México. *Mundo Nano*, 4(2), pp. 83–100.
- Sanchez-Mora, C., Reynoso-Haynes, E., Sanchez Mora, A. M. and Parga, J. T. (2014), Public Communication of Science in Mexico: Past, Present and Future of a Profession. *Public Understanding of Science*.

- Sánchez Vázquez, Adolfo (1984), La ideología de la “neutralidad ideológica” en ciencias sociales, en *Ensayos marxistas sobre filosofía e ideología*, pp. 139–164, México, Océano.
- Sandler, Ronald (2006), The GMO-Nanotech (Dis)Analogy?, *Bulletin of Science, Technology & Society*, 26(1): 57–62.
- dos Santos, Theotonio (1973), *Dependencia y cambio social*, Buenos Aires, Amorrortu Editores.
- Scheufele, Dietram (2014), Science Communication as Political Communication. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(Supplement\_4): 13585–13592.
- Scheufele, Dietram y Lewenstein, Bruce (2005), The public and nanotechnology: how citizens make sense of emerging technologies, *Journal of Nanoparticle Research*, 7(6), pp. 659–667.
- Schultz, Laura y Joutz, Frederick (2010), Methods for identifying emerging general purpose technologies: a case study of nanotechnologies, *Scientometrics*, 85(1), pp. 155–170.
- Schumpeter, Joseph (1939), *Business cycles: a theoretical, historical, and statistical analysis of the capital process*, New York, McGraw-Hill.
- \_\_\_\_\_ (1994), *Capitalism, Socialism and Democracy*, London, Routledge.
- Scripps, Sarah (2013), Nano: modular exhibit, *Teorie vědy/Theory of Science*, 35(1), p. 147–150.
- Selin, Cynthia (2007), Expectations and the emergence of nanotechnology, *Science, Technology & Human Values*, 32(2): 196–220.
- Serena, Pedro (2010), *La Nanotecnología*, Madrid, CSIC : Catarata .
- \_\_\_\_\_ (2013), Una experiencia en nanoeducación: el taller ‘Explorando el Nanomundo’, *MOMENTO, Revista de Física*, (46E): 63–73.
- \_\_\_\_\_ (2014), Divulgación de nanotecnologías en España.
- Serena, Pedro y Tutor, Joaquín (2011), La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante, *Mundo Nano*, 4(2), pp. 48–58.
- Smalley, Richard (2001), Of Chemistry, Love and Nanobots, *Scientific American*, 285(3): 76–77.
- \_\_\_\_\_ (2005), Nanotechnology and our energy challenge, en *Nanotechnology: Science, innovation, and opportunity*, Upper Saddle River, Prentice Hall PTR.
- StatNano (2014), Nano Science, Technology and Industry scoreboard, tomado de <http://statnano.com/> [15/10/2014].
- Steedman, Marek (2004), State power, hegemony and memory, *Poroi*, 3(1), pp. 78–102.

- Stein, Howard (2008), *Beyond the World Bank Agenda: An Institutional Approach to Development*, Chicago, University of Chicago Press.
- Suárez, Omar (2004), Schumpeter, innovación y determinismo tecnológico, *Scientia et Technica*, (25), pp. 209–213.
- Sunkel, Osvaldo (2009), En busca del desarrollo perdido, *Problemas del Desarrollo*, 37(147).
- \_\_\_\_\_ (2011), La universidad latinoamericana ante el avance científico y técnico, en Sábato, J., *El Pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*, pp. 116–131, Buenos Aires, Ediciones Biblioteca Nacional.
- Takeuchi, Noboru (2012), *Hablemos de Nanociencia*, UNAM.
- \_\_\_\_\_ (2009), *Nanociencia y nanotecnología: la construcción de un mundo mejor átomo por átomo*, México, F.C.E.
- Takeuchi, Noboru y Romo, Marisol (2011), *El Pequeño E Increíble Nanomundo*, UNAM.
- Taniguchi, Norio (1974), On the Basic Concept of Nanotechnology, 18–23, en *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*, Tokyo, Japan Society of Precision Engineering.
- Teichert, Nina (2012), *Innovation in General Purpose Technologies: How knowledge gains when it is shared*, Karlsruhe, KIT Scientific Publishing.
- Thomas, Alan (2000), Development as Practice in a Liberal Capitalist World, *Journal of International Development*, 12(6), 773–787.
- Thompson, Paul (2008), Nano and Bio: How Are They Alike? How Are They Different?, en David, K. y Thompson, P., *What can nanotechnology learn from biotechnology?: social and ethical lessons for nanoscience from the debate over agrifood biotechnology and GMOs*, Boston, Elsevier/Academic Press.
- Toffler, Alvin (1991), *Powershift: Knowledge, Wealth, and Violence at the Edge of the 21st Century*, New York, Bantam.
- Torres-Albero, C., Fernandez-Esquinas, M., Rey-Rocha, J. y Martin-Sempere, M. J. (2011), Dissemination practices in the Spanish research system: scientists trapped in a golden cage, *Public Understanding of Science*, 20(1), pp. 12–25.
- Torres-Rivas, Edelberto (2001), *La sociedad civil en la construcción democrática*.
- Tsuzuki, Takuya (2009), Commercial scale production of inorganic nanoparticles, *International Journal of Nanotechnology*, 6(5), pp. 567–578.

- Veblen, Thorstein (1919), *The Place of Science in Modern Civilization*, Transaction Publishers.
- Vignone, Kathryn (2013), Democratizing nanotechnology: the Nanoscale Informal Science Education Network and the meaning of civic education.
- Volder, Michael de, Tawfick, Sameh, Baughman, Ray y Hart, John (2013), Carbon nanotubes: present and future commercial applications, *Science*, 339(6119): 535–539.
- Von Tunzelmann, Nick (2003), Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions, *Structural Change and Economic Dynamics*, 14(4), pp. 365–384.
- Vilaseca, Jordi, Torrent, Joan y Díaz, Ángel (2002), La economía del conocimiento: paradigma tecnológico y cambio estructural.
- Volder, Michael, Tawfick, Sameh, Baughman, Ray y Hart, John (2013), Carbon nanotubes: present and future commercial applications, *Science*, 339(6119), pp. 535–539.
- Wong, Poh Kam, Ho, Yuen Ping y Chan, Casey (2007), Internationalization and evolution of application areas of an emerging technology: the case of nanotechnology, *Scientometrics*, 70(3): 715–737.
- World Bank (1998), *World Development Report 1998: Knowledge for Development*. Oxford University Press, USA.
- \_\_\_\_\_ (2007), *Building knowledge economies: Advanced strategies for development*, World Bank Publications.
- \_\_\_\_\_ (2014), World Bank Indicators, tomado de <http://data.worldbank.org/indicador> [26/08/2014].
- Youtie, Jan, Iacopetta, Maurizio y Graham, Stuart (2008), Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging General Purpose Technology?, *The Journal of Technology Transfer*, 33(3), pp. 315–329.
- Záyago, Edgar y Foladori, Guillermo (2010), La nanotecnología en México: un desarrollo incierto, *Economía Sociedad y Territorio*, X(32), pp. 143–178.
- Záyago, Edgar, Frederick, Stacey y Foladori, Guillermo (2014), Twelve years of nanoscience and nanotechnology publications in Mexico, *Journal of Nanoparticle Research*, 16(1).