



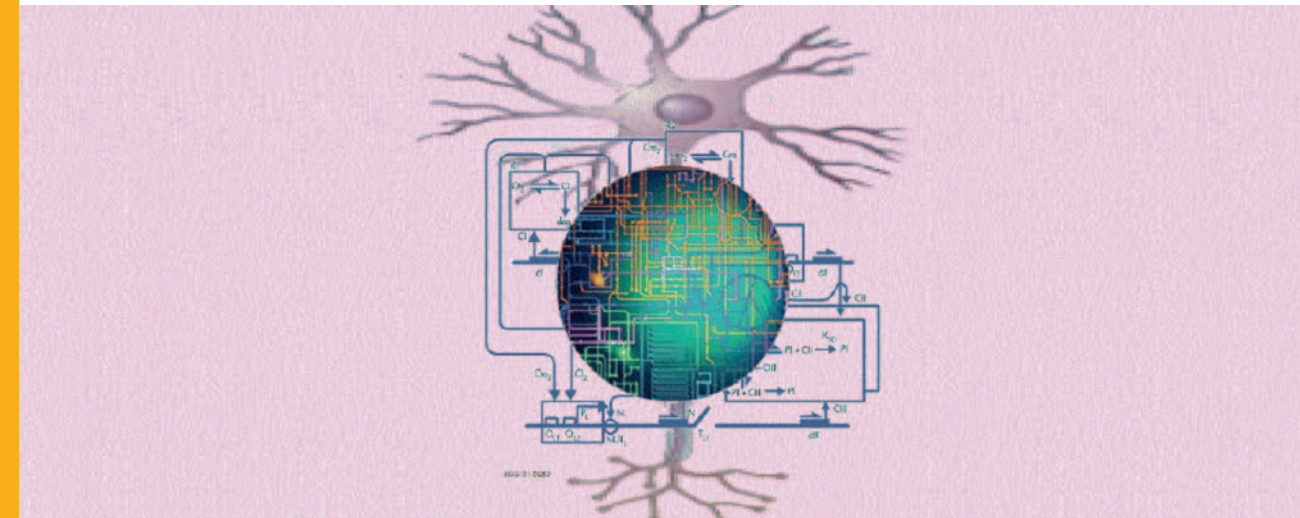
Patronato EOI:



Convergencia NBIC 2005

# Convergencia NBIC 2005

## El Desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)



www.eoi.es



# Convergencia NBIC 2005

El Desafío de la Convergencia  
de las Nuevas Tecnologías  
(Nano-Bio-Info-Cogno)



## Grupo de Expertos de este Proyecto EOI

### **EMILIO FONTELA,**

economía, Universidad Antonio de Nebrija, Madrid. Presidente

**Juan de Castro,** economía, Metaeconomics, Madrid. Ponente

**Jordi Aguiló,** física y bioelectrónica, Universidad Autónoma de Barcelona

**Javier del Arco,** biología y filosofía, Fundación Vodafone España, Madrid

**María Teresa Arredondo,** telecomunicaciones y salud, Universidad Politécnica de Madrid

**Ramón Compañó,** física, materiales y tecnologías de la información, Instituto de Prospectiva Tecnológica y Social, IPTS-JRC-CE, Sevilla

**Alfredo Fernández,** empresariales, EOI, Madrid

**Ana Morato,** ciencias de la información y prospectiva, Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial, OPTI, Madrid

**Juan Vicente Sánchez de Andrés,** fisiología y neurociencias, Universidad de La Laguna. Consejero de la FECYT.

**Pedro A. Serena Domingo,** física y nanotecnología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid

**Rosa Villa,** biomedicina y electrónica, CSIC Instituto de Microelectrónica de Barcelona

©EOI Escuela de Negocios

ISBN 84-88725-67-9

D. Legal M. 7.129-2006

Autor: Varios autores

Diseño y maquetación: Jose Salmerón

Imprime: Gráficas Muriel

No se permite la reproducción total o parcial de este libro ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, mecánico o fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

# Contenido

Prólogo .....	5
Presentación .....	7
El Programa Desafíos .....	9
Introducción .....	13
<b>Capítulo I</b>	
Economía y Tecnología: hacia el siglo XXI .....	17
I.1. Los ciclos de largo plazo .....	17
I.2. La dinámica del cambio empresarial .....	19
I.3. De la Revolución Industrial a la Nueva Economía .....	21
I.4. El círculo virtuoso de la Nueva Economía .....	24
I.5. Hacia la Sociedad del Conocimiento .....	27
I.6. Nuevas tecnologías para el siglo XXI .....	30
a) La nueva “oferta” de la ciencia .....	32
b) La nueva “demanda” de tecnología .....	33
I.7. Oportunidades para el sistema productivo .....	33
a) Sistemas sociotécnicos .....	34
b) Los servicios .....	35
c) La industria avanzada .....	36
<b>Capítulo II</b>	
El entramado científico-tecnológico NBIC y los “camino críticos” .....	39
II.1. NBIC: Una realidad “bottom-up” compleja y convergente .....	40
II.2. El entramado científico-tecnológico NBIC .....	42
II.2.1. La convergencia NBIC se ancla en el sistema económico .....	43
II.2.2. ¿”Top-down” o “bottom-up”? : el caso particular de la “Info” .....	43
II.2.3. El concepto de entramado científico-tecnológico .....	44
II.2.4. El entramado Nano .....	45
II.2.5. El entramado Bio .....	50
II.2.6. El entramado Cogno .....	54
II.3. Oferta y demanda científico-tecnológica y caminos críticos NBIC .....	56
II.3.1. “Nano-caminos críticos” .....	57
II.3.2. “Bio-caminos críticos” .....	60
II.3.3. “Cogno-caminos críticos” .....	62
II.3.4. Caminos críticos NBIC .....	64

### Capítulo III

Hacia la integración en el proceso NBIC: Los recursos disponibles en España y Perspectivas .....	69
III.1. Recursos disponibles en España .....	70
III.1.1. Panorama general .....	70
III.2. Hacia la identificación del camino crítico NBIC español .....	76
III.3. El nexo ciencia-tecnología-comercialización .....	79
III.4. Políticas públicas y visión prospectiva .....	82

### Capítulo IV

El desafío de la convergencia NBIC en España: políticas de ciencia y tecnología .....	85
IV.1. Sobre la formación superior y la multidisciplinaridad .....	88
IV.2. Sobre las plataformas tecnológicas y otros “partenariados” público-privados .....	90
IV.3. Sobre la estrategia de atracción, apropiación y aplicación del conocimiento científico-tecnológico .....	92

Referencias .....	97
-------------------	----

### Anexo 1

Análisis Estructural .....	103
----------------------------	-----

### Anexo 2

Inventario de instituciones españolas vinculadas a la convergencia NBIC .....	111
---	-----

# Prólogo

La Unión Europea cumple cincuenta años en los que ha conseguido establecer en el viejo continente una zona de paz, de cooperación y de prosperidad sin precedentes. EOI celebra también su 50º aniversario, lo que es sinónimo de 50 años de valiosos servicios al mundo empresarial español.

La Unión Europea tiene hoy en España uno de sus elementos de desarrollo más esperanzadores; un buen ejemplo de los esfuerzos españoles para fomentar nuestro desarrollo tecnológico es este ambicioso programa, “Programa Desafíos”; sobre la convergencia de las cuatro tecnologías, nano-bio-info-cogno (NBIC), que toma su nombre en referencia al momento que vive nuestra economía y nuestra sociedad en general, enfrentadas a los retos del cambio de modelo de competitividad, la globalización, la internacionalización industrial y el impacto de las nuevas tecnologías. Los expertos vaticinan que este nuevo ámbito estratégico movilizará hacia el año 2015 un volumen económico de un billón de euros anuales a nivel mundial.

Tanto en EE.UU. como en Europa, las tecnologías de la convergencia han creado una gran expectación en la comunidad científica. En 2001, la National Science Foundation de los EE.UU. hizo pública su apuesta por las NBIC; por su parte, la Unión Europea creó en diciembre de 2003 un grupo de expertos que en julio de 2004 emitió su primer informe señalando las directrices generales que deberían seguir los programas europeos de investigación en estas materias.

Este libro sobre la convergencia nano-bio-info-cogno es un libro importante: es un libro que intenta identificar los desarrollos tecnológicos que permitirán el desarrollo de la Sociedad del Conocimiento, y que busca un posicionamiento español en una carrera investigadora que se está iniciando en estos momentos. La convergencia NBIC no es sólo una realidad: es una necesidad.

Las cuatro tecnologías de las que estamos hablando constituyen, sin lugar a dudas, tecnologías que, cada una y por separado, tiran de la economía, lo que justifica la intervención de la Administración en apoyo de las mismas. El Gobierno de España así lo ha reconocido con una apuesta decidida a aumentar los presupuestos públicos destinados a investigación, apuesta reforzada por la decisión europea de aumentar el apoyo financiero a España para sus políticas de I+D+i.

El objetivo de la política tecnológica española de los próximos años consistirá en facilitar la interacción entre investigadores y empresarios, intensificando la cooperación público-privada en materia de I+D+i y promoviendo la internacionalización de la empresa y la transferencia tecnológica internacional mediante la participación en “plataformas tecnológicas”. Que duda cabe que la convergencia NBIC estará en el origen mismo de muchas de estas iniciativas que contribuirán a posicionar a la empresa española en un lugar destacado dentro de la Sociedad del Conocimiento europea.

El desarrollo de la convergencia de estas cuatro tecnologías contribuirá de manera decisiva al logro de un mayor bienestar y calidad de vida, ampliando los sentidos del ser humano y dando respuesta a múltiples necesidades de la persona y de la sociedad.

Muchos de los grandes retos futuros, industriales, nutricionales, medioambientales y sociales que hoy existen en el mundo, tendrán sin duda una importante participación de las aplicaciones que se vayan encontrando.

Finalmente, quisiera felicitar a esta Escuela de Organización Industrial con motivo de su 50 aniversario, así como por esta excelente iniciativa que este libro nos presenta, y que contribuirá, sin duda, al cumplimiento del objetivo que España se ha marcado, siguiendo las pautas de la estrategia de Lisboa.

**Joan Trullén**

Secretario General de Industria, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio

# Presentación

“Hay mucho espacio en el fondo” o “There is plenty of room at the bottom”, juego de palabras con el que se dirigió el Premio Nóbel Richard Feynman –uno de los grandes físicos de la historia universal-, en 1959 a su auditorio en la Universidad Tecnológica de California, Caltech, en una de las conferencias más famosas de la historia de la Física. Pero ese “fondo” al que se refería Feynman no era el de la abarrotada sala de actos. Hablaba de otro fondo: el de las fronteras de la física, el mundo que existe a escala molecular, atómica y subatómica. Por primera vez, alguien pedía investigación para hacer cosas como escribir todos los libros de la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos en una pieza plástica del tamaño de una mota de polvo, miniaturizar las computadoras, construir maquinaria de tamaño molecular y herramientas de cirugía capaces de introducirse en el cuerpo del paciente y operar desde el interior de sus tejidos. Como explicaba Feynman ya entonces con enorme clarividencia, se trataba de “un campo que tendrá un número enorme de aplicaciones técnicas”. Y en esa dinámica de construcción de un nuevo horizonte científico-tecnológico para el ser humano estamos inmersos ahora, cuarenta y siete años más tarde. Este apasionante libro práctico y a la vez erudito del Profesor Emilio Fontela y su magnífico equipo de colaboradores, es un fiel reflejo del “estado del arte” de este trascendente salto delante de la humanidad.

La iniciativa de EOI y de manera muy especial de su Director General Félix Santamaría al abordar este tema es, simultáneamente, valiente e inteligente. Valiente, porque supone una llamada de atención sobre un nuevo universo industrial no muy conocido en España, y tampoco en muchos países de Europa, salvo en entornos especializados académicos y empresariales, aunque sus efectos y posibilidades van a redundar pronto sobre nuestro espacio social



y económico; inteligente, porque realiza un importante esfuerzo por estimular la creación de un nuevo espacio tecno-industrial que con toda probabilidad puede ser del mayor interés fomentar la innovación y la actualización, una vez más, de ese tercer sector tan importante para el progreso social en España. En este sentido y desde la perspectiva de la Fundación Vodafone España que con tanto entusiasmo participa en las iniciativas de EOI, hay que hacer notar el notable estímulo recibido desde Vodafone España para esta iniciativa, siempre muy sensible a los avances tecnocientíficos con dimensión social y empresarial

Estarían incompletas estas palabras sin un reconocimiento expreso de la importante, creativa y rigurosa labor realizada por el profesor Emilio Fontela y su equipo de colaboradores al poner a disposición de todos un documento tan interesante.

**José Luis Ripoll**

Director General Fundación Vodafone España  
De la Academia Europea de Ciencias y Artes

# El Programa Desafíos

Nunca en la historia de la humanidad ésta ha podido reflexionar como ahora sobre su futuro de una manera tan generalizada y poniendo en común sus esperanzas y preocupaciones. Las telecomunicaciones, claro exponente del desarrollo tecnológico, permiten a los miembros de la comunidad científica y de la sociedad, en general, compartir sus reflexiones mucho más rápida y ampliamente que antes.

Desde hace poco tiempo, el término Tecnologías Convergentes, o Convergencia de las Cuatro Tecnologías, Nano, Bio, Info y Cogno, NBIC, ha ido recogiendo el interés, todavía minoritario, de los sectores especializados, y ha iniciado un conjunto de debates que deberán extenderse a toda la sociedad, a medida que las predicciones de los científicos y tecnólogos plasmadas en los ejercicios recientes de prospectiva se vayan cumpliendo.

EOI, en su historia, ha sido vehículo de mejora de la productividad, de formación medioambiental técnica y de gestión, de creación de empresas y difusión del espíritu emprendedor, de la introducción de las nuevas tecnologías en la empresa o en la formación, y muchos otros aspectos, acompañando al desarrollo económico de nuestras empresas. En la actualidad, la escuela renueva, con más fuerza que nunca, su apuesta firme por impulsar hacia el futuro su actividad, apoyada en tres ejes: tecnología, emprendedores y sostenibilidad, y en ese contexto, ha querido dar el paso de poner a disposición de la administración, de las empresas y de la sociedad en general un documento que contribuya a acercar a todos los sectores sociales el conocimiento y las bases para el debate sobre la Convergencia de las Cuatro Tecnologías.

Este documento es el primero de una serie que refleja una nueva línea de trabajo en EOI, que consistirá en la elaboración de un Informe anual sobre las nuevas tecnologías, con un enfoque de prospectiva y anticipación, aglutinando el trabajo de grupos de expertos, bajo la denominación de Programa DESAFÍOS.

La posibilidad de integración de las Nano, Bio, Info y Cogno tecnologías en un único dispositivo puede llegar a generar un nuevo espectro de soluciones tecnológicas hoy inimaginables, y su desarrollo delinea un camino que muchos esperan sea clave para la creación de nuevas disciplinas científicas, pero también de nuevos sectores industriales, además de nuevas capacidades para los seres humanos. Se vislumbra, con ello, un futuro de enormes transformaciones, tanto en la calidad de vida y el bienestar de las personas como en la economía de los países.

Eso configura un interesante escenario, atractivo, por los positivos y grandes retos que se abren, pero, como siempre, con las sombras de las enormes incertidumbres sobre los cambios que esto va a producir en los individuos y la sociedad.

En algunos ámbitos se destaca que, ya en el planteamiento, EEUU y Europa han iniciado su trabajo y su reflexión en este campo con un enfoque distinto, más individual, en el caso americano (su estudio se llama *Converging Technologies for Improving Human Performance*), más social en el caso europeo (*Converging Technologies – Shaping the future for European Societies*), al menos en su enunciado.

La Comisión Europea ha producido un documento en el que se hace hincapié en que las prioridades de I+D no son disociables de las características culturales y sociales de Europa, y que es fundamental el estudio de los problemas éticos que se plantean en este campo. Pero, en cualquier caso, se anima a cambiar enfoques en la ciencia, en la sociedad, en las formas de enseñar... España tiene algunas oportunidades ante estos nuevos enfoques, ya que debe incluso que transformar su sistema universitario en este momento.

Pero nada avanza si no se impulsa. Es necesario, en nuestro país, tomar conciencia de la necesidad de invertir en este camino, de debatir sobre los retos éticos que plantea a la especie humana e incentivar aquellos aspectos que parezca necesario incentivar en la I+D o, lo que es más, en el desarrollo de nuevas empresas y o aplicaciones.

Si es un momento en el que, en España, los expertos están preparados, como se desprende de los análisis realizados, hay que aprovechar la oportunidad, pero habrá que concentrar esfuerzos de una manera importante en cubrir los huecos y fortalecer los puntos que han constituido debilidades en nuestro sistema de desarrollo.

Algunos de los males en relación con el desarrollo de la ciencia que España ha padecido en otros momentos, ahora no se producen, se cuenta con científicos de nivel adecuado y con la conciencia de que hay que trabajar en este camino. Sin embargo, las posibilidades de desarrollo de empresas y aplicaciones prácticas de los avances en la ciencia son más dudosas. Existe un preocupante alejamiento del mundo de la ciencia y de sus aplicaciones en la empresa, contra el que se está luchando en los últimos años.

Objetivo de este libro es difundir las bases, los retos y la filosofía del nuevo paradigma en convergencia de tecnologías, además de analizar el contexto español. Sería deseable que pudiera constituirse, asimismo, en un vehículo que facilitara el entendimiento entre los expertos del mundo de la ciencia y de la empresa.

El enfoque que EOI ha adoptado para este informe es el que los expertos ahonden en consideraciones sobre la evolución a largo plazo de la economía como marco en el que analizar las características de la convergencia NBIC. Sin pretender hacer previsiones, sí analizar tendencias desde una perspectiva científica, aun aceptando las grandes incertidumbres abiertas, y evitando las posibles frivolidades de la ciencia ficción. La exploración del futuro de la tecnología tiene que pasar por la consideración de escenarios económicos y sociales coherentes y realizables.

El DESAFIO de las nuevas tecnologías es una gran oportunidad para España para situarse en el grupo de países en cabeza de la innovación en Europa, y una filosofía proactiva en esa línea es la que guía al conjunto de actividades del Programa DESAFÍOS de EOI, que se inicia con este Informe.

**Rosa Arce**

Directora Académica de EOI Escuela de Negocios



# Introducción

La empresa es el agente económico que mayor esfuerzo dedica a la innovación: vive en un entorno de permanente competencia, y su lucha por la existencia requiere cambios constantes, defensivos u ofensivos, reactivos o proactivos. Tener capacidad para cambiar en todo momento conlleva mirar siempre hacia delante, hacia el futuro. La empresa necesita capacidad de anticipación, una capacidad indispensable para asumir riesgos de manera consecuente y para aprovechar oportunidades que despejen incertidumbres.

La función de vigía tecnológica es una de las preocupaciones más indispensables para la estrategia empresarial. ¿Qué podemos esperar de las nuevas tecnologías? ¿Afectarán nuestros mercados tradicionales? ¿Requieren nuevas inversiones? ¿Durante cuánto tiempo podremos apropiarnos sus beneficios? Las preguntas que se hace la empresa sobre el futuro tecnológico son innumerables.

La información sobre las tecnologías del futuro es por definición escasa, ya que éstas dependen de procesos de investigación científica y técnica de incierto resultado. Los empresarios consultan a los expertos; éstos intercambian y transmiten sus percepciones. El lenguaje que se utiliza es bastante hermético.

Pero a pesar del elevado nivel de indeterminación, las empresas se ven obligadas a tomar decisiones, a invertir en I+D, a comprar patentes y know-hows.

Las limitaciones de la información sobre las tecnologías del futuro también afectan a las Administraciones públicas, responsables principales del desarrollo de un bien público indispensable para el desarrollo económico y social: el conocimiento científico.

La prospectiva tecnológica es más bien un arte que una ciencia: la selección de los expertos que tienen opiniones “justas” sobre futuros probables; la identificación de los factores relevantes; la interpretación económica y social de los impactos hipotéticos de una tecnología incipiente; estos y otros aspectos necesarios para un trabajo de prospectiva tecnológica son “borrosos” en sus variables tecnológicas y contenidos relacionales. La prospectiva se aprende haciéndola y sus métodos se renuevan en cada aplicación.

Para que la prospectiva tecnológica pueda ser útil a la hora de preparar decisiones de las empresas y de las administraciones públicas es indispensable que sea clara, transparente en su desarrollo, simple (hasta simplista) en su presentación, abierta a la crítica y rigurosa en sus planteamientos.

El Informe EOI sobre Nuevas Tecnologías 2006, es un trabajo de prospectiva tecnológica que ha optado deliberadamente por construir un escenario socioeconómico coherente con una evolución tecnológica (la convergencia nano-bio-info-cogno) que expertos de reputación bien contrastada han puesto en evidencia en la Academia de Ciencias de Estados Unidos, en la Oficina Nacional de la Ciencia de Canadá, en la Dirección de Investigación de la Comisión Europea, en Japón o en Corea.

Obviamente, no hay unanimidad entre científicos y tecnólogos sobre la existencia de esta evolución de la convergencia molecular, o convergencia hacia lo infinitamente pequeño; abundan opiniones que consideran que la convergencia nano-bio-info-cogno es una operación puramente cosmética, una propuesta atractiva para influenciar los procesos de asignación de fondos públicos de investigación. Pero son cada vez más fuertes las señales que apuntan por una interdisciplinaridad emergente entre estas cuatro ciencias y tecnologías que lideran la entrada en el siglo XXI.

El Informe parte del punto de vista de que la Sociedad Sostenible del Conocimiento, el objetivo identificado por los Consejos de Lisboa y de Goteborg de la Unión Europea, es un objetivo sensato, razonable para el futuro de los países europeos y, por tanto, para España. Con la idea en mente de una nueva Sociedad, es obvio que se necesita una oleada de nuevas tecnologías que respondan directamente a este objetivo, una oleada que tenga su dinámica interna, sus interdependencias, que desarrolle sinergias transdisciplinares, como las que se observaron en anteriores oleadas tecnológicas.

La convergencia nano-bio-info-cogno evoca directamente las que podrían ser las principales características de una nueva oleada; si esta convergencia tecnológica todavía no estuviera en marcha, convendría en todo caso empezar a pensar en ella, empezar a inventarla.

El Informe EOI consta de cuatro capítulos:

- en el primero, se introduce el escenario económico y social del futuro, la Sociedad Sostenible del Conocimiento, explicando la transformación necesaria a partir de la realidad presente definida como una Nueva Economía que se apoya en el paradigma tecnológico de la Sociedad de la Información;

- en el segundo se profundiza en el contenido de la convergencia de las nanotecnologías, las biotecnologías, las infotecnologías y las ciencias cognitivas (la convergencia NBIC) mediante un análisis estructural de estos cuatro nuevos campos del saber científico y tecnológico, y de sus interconexiones;
- en el tercero, el análisis se centra en la realidad española para identificar los potenciales existentes en diferentes planos (el empresarial, el administrativo, el investigador, el universitario) en el área difusa de las tecnologías que intervienen en el posible proceso de convergencia (los temas concretos de la convergencia de las cuatro tecnologías en su conjunto todavía no han sido abordados ni teórica, ni prácticamente, en España);
- finalmente, en el capítulo cuarto, partiendo de la base de que es el momento oportuno para que España se integre en el pelotón de cabeza del proceso europeo de la convergencia NBIC, se hacen recomendaciones en cuanto a la necesidad de adaptar la educación superior; de estimular la colaboración público-privada, y de estimular la participación en el proceso de creación de nuevas iniciativas empresariales.

Los anexos incluyen una metodología de la prospectiva tecnológica (el análisis estructural interpretativo) que se ha utilizado para analizar la convergencia NBIC, y una base de información de organismos y de personas potencialmente implicados en los desarrollos de la convergencia NBIC.





## Capítulo I

# Economía y Tecnología: Hacia el siglo XXI

### I.1. Los ciclos de largo plazo

La economía ha desarrollado su base teórica en torno al análisis de los mecanismos de mercado, de los intercambios de bienes, servicios y factores productivos, así como de las características del funcionamiento optimizador de estos mercados. Esta base teórica ha dedicado más atención a los procedimientos de búsqueda del equilibrio óptimo de los mercados, que a la interpretación de su dinámica temporal; en general ha sido más importante para los economistas establecer el *¿cómo?* que el *¿por qué?* del cambio de los mercados.

La razón principal de esta “benigna negligencia” se debe a que los elementos esenciales del *¿por qué?* del cambio de los mercados se encuentran en fenómenos que se escapan al análisis económico en su sentido más estricto y tradicional: la creatividad científica y tecnológica que interviene poderosamente en el contenido de las ofertas de bienes y servicios tiene escasa relación con el prototipo utilitarista del homo oeconomicus; y del mismo modo los valores sociales que intervienen a la hora de definir el contenido de muchas demandas, se adentran más bien en el campo científico de la sociología que en el de la economía.

Así se explica que los economistas que se han interesado por el cambio tecnológico son poco numerosos y no forman parte del mainstream de esta ciencia social.

En el momento actual, dos escuelas del pensamiento económico, la escuela neoclásica y la escuela evolucionista, le dedican alguna atención, la primera al considerar que la tecnología modifica las funciones de producción que intervienen en los equilibrios microeconómicos,

y la segunda porque estima que la evolución en el tiempo de los sistemas económicos está condicionada y condiciona el desarrollo tecnológico. El análisis teórico del equilibrio y de la dinámica se enriquecen cuando se interpreta el cambio tecnológico como parte integrante de ambos, y es muy probable que visiones más ambiciosas establezcan pronto puentes de complementariedad entre las dos corrientes investigadoras. En todo caso, es evidente que uno de los puntos de conexión entre el equilibrio y la dinámica se encuentra en el tema de las fluctuaciones, de los llamados ciclos de la economía (Verspagen, Werker, 2003).

Las interpretaciones teóricas neo-clásicas que atribuyen las fluctuaciones de corto plazo a procesos de desequilibrio provocados por choques exógenos, y las evolucionistas que se inspiran en el principio de destrucción-creación de la actividad innovadora empresarial, si bien explican las irregularidades del crecimiento a corto plazo, no nos dicen mucho sobre la realidad de las grandes oleadas de prosperidad o de depresión que durante décadas modifican el horizonte de la economía. Hay grandes periodos de la historia en los que con choques exógenos y con destrucciones creativas, se crece intensamente, y otros en los que otros choques y destrucciones similares son acompañados por crecimientos moderados o por decrecimientos (Fontela, Pulido, 1991).

Los choques tecnológicos y las innovaciones no son el resultado de procesos aislados movidos por el azar o por la necesidad. No son el resultado de inventos mágicos. Se producen en

un contexto de interdependencia tecnológica. Esta es la gran aportación a la ciencia económica contemporánea de la escuela neo-schumpeteriana. Las tecnologías no nacen independientemente unas de otras. Lo hacen en complejos entramados sinérgicos, lo hacen en “racimos”; en forma del “clusters”; porque con frecuencia, los productos de una ciencia y de una tecnología proporcionan insumos indispensables para otra ciencia o tecnología. No habría física cuántica sin matemática de las probabilidades; no habría telefonía móvil sin microelectrónica. Las innovaciones están necesariamente interconectadas unas con otras (Wolf, 1997).

### Las revoluciones tecnológicas

1771	La revolución industrial	Homo de Azkwricht en Cromfor (GB)
1829	Edad de vapor y de los ferrocarriles	Prueba de la máquina de vapor Rocket en el ferrocarril de Liverpool a Manchester (GB)
1875	Edad del Acero, de la electricidad y de la ingeniería pesada	La planta de acero de Carnegie Bessemer se abre en Pittsburg (EE.UU.)
1908	Edad del petróleo, el automóvil y la producción de masa	El primer modelo T sale de la Ford en Detroit (EE.UU.)
1971	Edad de la información y de las telecomunicaciones	El microprocesador de Intel es anunciado en Santa Clara (EE.UU.)

Fuente: C. Pérez, 2003

Para los neo-schumpeterianos estas interdependencias científicas y tecnológicas son

las que proporcionan las grandes transformaciones que impulsan a los sistemas económicos hacia elevados ritmos de crecimiento que pueden durar varias décadas.

A mediados del siglo XIX, el carbón, el acero y la máquina de vapor abrieron la puerta a un intenso desarrollo de tecnologías fabriles y de transportes (ferroviario y marítimo).

A principios del siglo XX otra oleada de desarrollos tecnológicos tomó su impulso en la nue-

va fuente energética del petróleo, en la química y los materiales plásticos, en el automóvil y el avión, promoviendo innovaciones en el ámbito de la producción y de la distribución que encontraron su apogeo después de la segunda guerra mundial (Bruland, 1998).

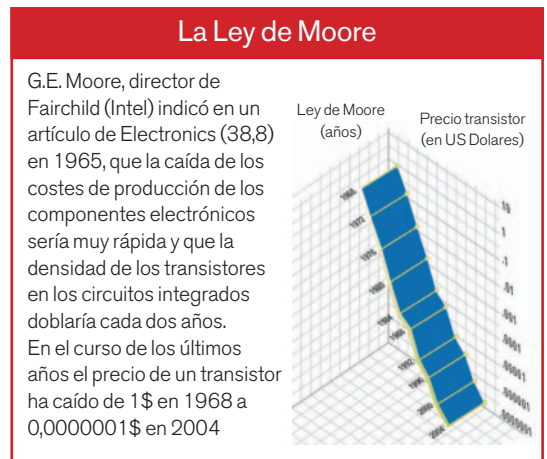
El paradigma tecnológico en el que se sustenta la nueva oleada de innovaciones en los países industriales avanzados y en los países emergentes, es el que se refiere a las tecnologías de la información, los ordenadores, la microelectrónica y las telecomunicaciones (Freeman, 1996).

## I.2. La dinámica del cambio empresarial

La segunda mitad del siglo XX se ha caracterizado por el desarrollo paulatino de la llamada Sociedad de la Información, una sociedad que en todas sus actividades económicas, sociales o políticas se informa e informa con una abundancia y precisión sin precedentes en la historia de la humanidad.

Este desarrollo corresponde a la interacción de un conjunto de tecnologías que apoyadas en la microelectrónica han permitido la fructificación conjunta de los ordenadores y de las telecomunicaciones. Esta convergencia tecnológica ha contribuido a un crecimiento exponencial de la creación, la comunicación y el almacenamiento de datos digitalizados con un coste unitario vertiginosamente descendiente.

La posibilidad de introducir más y más barata información ha transformado prácticamente todos los procesos y productos característicos de los sistemas productivos de los países más avanzados, y ha apoyado una profunda reestructuración de dichos sistemas. Como esta reestructuración se ha producido en un momento de liberalización mundial del comercio y de los movimientos de capitales, la globalización resultante ha permitido modificar las bases territoriales de la especialización, acercando las producciones a las disponibilidades de factores productivos al mínimo coste. Hoy en día, las dinámicas nacionales de crecimiento así como las relaciones económicas internacionales dependen en gran medida de la capacidad de los territorios para desarrollar las tecnologías de la información y de la comunicación. Países como China o la India, que parecen definir sus bases competitivas únicamente en función de sus bajos salarios, en realidad pueden aprovechar esta circunstancia debido a su excelente posicionamiento relativo en el ámbito de las tecnologías de la información.



Fuente: Intel 2005

## Taylor y la organización científica del trabajo

F.W. Taylor, 1856-1915, autor de *The Principles of Scientific Management*, Harper, NY, 1911.

El taylorismo constituye un desarrollo natural de la división del trabajo para aumentar la productividad. La producción de masa y en particular la organización de cadenas productivas, asimilaba al trabajador a una máquina con ritmos y resultados predeterminados. La llamada organización científica del trabajo desplazaba el pensamiento y el conocimiento hacia la dirección, y dejaba únicamente tareas de ejecución para los obreros. La primera mitad del siglo XX se caracterizó por un perfeccionamiento constante de las aplicaciones del taylorismo en las fábricas.

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TIC), núcleo duro de la innovación a finales del siglo XX, se ha visto acompañado por numerosos progresos tecnológicos en otros campos (la química, los materiales plásticos, la farmacia, los materiales compuestos, la microelectrónica en los bienes de equipo, etc.) algunos con grandes capacidades de integración de tecnologías de origen muy diverso (la aeronáutica y el sector espacial, los trenes de alta velocidad, la tunelización, etc.).

En los años cincuenta, cuando se instalaban los primeros ordenadores, de ingentes dimensiones y uso complicado, la organización científica del trabajo, punto de apoyo para la producción de masa, estaba en su apogeo: el taylorismo había contribuido al aumento de la eficiencia de las fábricas y de la productividad de los trabajadores, y después de una fase inicial de deconstrucción de las funciones manuales, la organización industrial avanzaba hacia fórmulas más enriquecedoras que asociaban la destreza manual y mental. Se daba paso al trabajo en grupo y se potenciaba la automatización para las tareas más alienantes.

En el campo de la organización del trabajo humano, cuyas tecnologías son esenciales para el desarrollo productivo en todos los sectores de la actividad económica, desde la industria básica a la de los bienes de equipo, desde la industria de los bienes de consumo hasta las actividades de producción de servicios de todo tipo, la revolución de las tecnologías de la información ha transformado los sistemas operativos. La red de informaciones que sustenta el funcionamiento de las organizaciones productivas, privadas y públicas, grandes y pequeñas, tiene un soporte tecnológico microelectrónico que condiciona su productividad y su capacidad de supervivencia, en unos entornos económicos cada día más competitivos.

Hoy, la organización científica de la actividad productiva es inseparable de la comprensión del progreso técnico en general, de la dinámica evolutiva de los procesos y de los productos, y en particular, de la integración de las TICs en la definición de los sistemas operativos de las empresas.

Las tecnologías de la información han destruido las bases fundamentales del taylorismo; ya no tiene ningún sentido separar el trabajo manual del trabajo intelectual, ya no cabe separar a los que hacen de los que piensan. La empresa funciona en equipo, en forma participativa, integrada por el sistema nervioso de la red de informaciones. Si bien sigue siendo verdad que la información es un poder, hoy este poder está compartido en el seno de la empresa y se enriquece por contacto sinérgico; es hacia el exterior entonces que la información se concibe como instrumento del poder competitivo. Este es el mensaje funcional que transmite la teoría y la práctica contemporánea de la organización y de la gestión de la empresa.

En este contexto evolutivo, ¿cuál es el mayor desafío para el desarrollo empresarial en el siglo XXI?

Sin duda, como en el pasado reciente, el desafío es inicialmente de carácter tecnológico. La empresa de finales del siglo XX ha sabido absorber las tecnologías del paradigma de la Sociedad de la Información, ha transformado en consecuencia los procesos productivos que adopta y los productos que vende, ha revolucionado su estructura organizativa. Y ha acapecado la volatilidad y la incertidumbre de mercados más competitivos sometidos también a la vitalidad adicional de una mayor y mejor información.

Dicho esto ¿qué nos reservan las futuras tecnologías del siglo XXI?, ¿puede la empresa anticiparlas y erigirse en actor principal del cambio que viene?, ¿hasta qué punto existen potenciales tecnológicos que pueden, una vez más, como lo acaban de hacer las TICs, modificar procesos, productos, organizaciones y mercados?

La respuesta a estas preguntas requiere previamente una interpretación de la evolución económica, de sus grandes tendencias, y de los motores de cambio.

En efecto, existe una estrecha vinculación entre la evolución económica y el cambio tecnológico, que interactúan a todos los niveles, micro, meso y macroeconómicos.

Las empresas, los sectores productivos, los territorios, y los agregados del consumo o de la inversión de una economía están condicionados y condicionan el desarrollo de la innovación y de la tecnología. Hablar del futuro de la tecnología es también hablar del futuro de la economía.

### I.3. De la Revolución Industrial a la Nueva Economía

La Revolución Industrial iniciada a mediados del siglo XVIII se apoyaba en el desarrollo de fábricas que incorporaban equipos productivos, máquinas. El sistema económico que se desarrolló a partir de entonces tenía como finalidad el aumento de la productividad del trabajo, proceso inducido por una acumulación de capital que directa o indirectamente facilitaba el rendimiento del trabajador (infraestructuras, instalaciones y equipos). Esta eficiencia del sistema productivo, estimulada por los mecanismos de mercado y por políticas públicas apropiadas, contribuyó poderosamente a la mejora del nivel de vida, aunque es evidente que al mismo tiempo se consumieron abundantes recursos no renovables, y surgieron nuevos problemas sociales, en particular entre trabajadores y capitalistas que luchaban por una distribución equitativa de las rentas y de las ganancias de productividad.

#### Niveles de análisis económico

**Microeconomía:**

los agentes económicos y los mercados; equilibrio general de demandas, ofertas y precios

**Mesoconomía:**

el contexto aplicado del funcionamiento del sistema económico.

- Territorios
- Instituciones
- Sectores

**Macroeconomía:**

la agregación de las rentas y del consumo, de la producción y de la acumulación; crecimiento agregado

En términos contemporáneos podríamos decir que la Revolución Industrial no ofrecía un modelo de economía sostenible, ya que en el trípode de lo económico, lo social y lo ambiental, el modelo sólo era económicamente eficiente y rentable.

En la segunda mitad del siglo XX esta falta de sostenibilidad se hizo más patente, en parte por la mayor conciencia ciudadana de la pérdida de calidad ambiental y por la percepción generalizada de los peligros del deterioro del medioambiente y de los límites existentes en la disponibilidad de recursos y de ciertas fuentes no renovables de energía; y en parte también por la aparición de problemas endógenos del modelo de crecimiento industrial. Estos problemas se sitúan en el nivel mesoeconómico de las estructuras productivas, y aunque no se dispone de una documentación estadística satisfactoria para analizarlos en detalle, pueden ser razonablemente argumentados a partir de explicaciones teóricas y aplicadas fragmentarias.

El modelo industrial de los últimos doscientos años se ha caracterizado por tres evoluciones profundas que pueden ser descritas como grandes evoluciones estructurales de diferentes precios relativos:

- los precios bajos (y la gratuidad en ciertos casos) de los recursos no-renovables y de la calidad ambiental que estimulaban pautas de consumo depredadoras (o sea que el precio relativo de los comportamientos “sostenibles” aumentaba en la economía);
- las ganancias de productividad se concentraban en los procesos fabriles, y por tanto los precios relativos de las manufacturas bajaban constantemente en relación con los precios de las actividades de servicio (comerciales, empresariales o simplemente personales);
- como los procesos más productivos se identificaban con la producción de masa y las economías de escala, y que la artesanía se aproximaba a la producción a la medida, el precio relativo de la Cantidad (un concepto sin duda abstracto pero que podría concretarse) disminuía en relación al precio de la Calidad.

Los precios relativos entre grandes magnitudes socio-económicas (el precio relativo de la sostenibilidad, de los servicios o de la calidad, en relación con la no-sostenibilidad, los objetos materiales y la cantidad) actúan sobre las estructuras económicas en procesos a largo plazo, y son poco perceptibles cuando se vive la realidad del día a día, aunque acaban aflorando a la superficie en periodos de crisis.

A principios de los años setenta el informe del Club de Roma sobre los límites del cre-

Modelo Industrial: Evolución histórica de los precios relativos	
Precios relativamente crecientes	Precios relativamente decrecientes
Servicios	Recursos naturales no renovables (materias primas y energía)
Productos artesanos y artísticos	Contaminaciones (precio cero)
Productos intensivos en recursos humanos cualificados (alto valor añadido)	Productos manufacturados que evolucionan con constantes innovaciones tecnológicas
Productos de calidad	Productos de masa (economías de escala)

cimiento (Forrester, 1971; Meadows et al, 1972) que tuvo gran resonancia a nivel mundial, emitió el diagnóstico de la pérdida de sostenibilidad y calidad del modelo industrial, y la crisis de los países industrializados en la década de los setenta en cierto sentido confirmó la dura realidad del análisis.

Es más, se observó entonces que la productividad del trabajo empezaba a ralentizar fuertemente su crecimiento, en EE.UU y en el resto de los países industrializados, como si se hubiera estancado el cambio tecnológico y el proceso de acumulación de capital. El crecimiento económico parecía tocar a su fin.

En un artículo pionero sobre el crecimiento desequilibrado, Baumol (1967) daría entonces con la clave de la explicación teórica del fenómeno: la economía tiene sectores productivos en los que la capitalización y la competencia permiten fuertes aumentos continuados de la productividad (se trata en particular de las industrias manufactureras) y otros sectores en los que por el contrario los procesos productivos son tradicionalmente conservadores y la productividad está estancada (es el caso, por ejemplo, de los servicios y de la artesanía). Como ya hemos señalado, esta dicotomía conlleva como consecuencia un aumento del precio relativo de las actividades menos productivas que tienden a desaparecer, pero que si consiguen mantenerse por su carácter indispensable, absorben progresivamente la mayor parte del empleo y de la producción (en términos nominales). El síndrome de Baumol anunciaba el aumento del peso relativo de los sectores de baja productividad, algo que se pudo verificar en la mayoría de los países industriales avanzados a partir de 1970.

Como ocurre con frecuencia en la vida económica, la crisis del modelo industrial y la ralentización de crecimiento económico coincidieron con un proceso inesperado de cambio tecnológico que obligaría a reconsiderar las bases del sistema económico.

En efecto, las tecnologías del paradigma de la Sociedad de la Información, los ordenadores, las telecomunicaciones y la microelectrónica aportaron oportunidades para la renovación y la transformación del modelo de crecimiento industrial. Junto con la aparición de un nuevo sector industrial avanzado con tasas elevadas de crecimiento de la productividad y gran capacidad de disminución de sus precios relativos (los equipos informáticos y de telecomunicaciones y el material electrónico reducen sus precios año tras año, en una generali-

### El Síndrome de Baumol

"En 1967, Baumol elaboró un modelo de crecimiento desequilibrado en el que consideraba una economía dividida en dos sectores, uno con productividad creciente, y otro con productividad constante o estancada. Baumol argumentó entonces que los costes y los precios relativos del sector estancado tendrían tendencia a aumentar previsiblemente y de manera acumulativa, y que en este caso, si las proporciones de la producción de ambos sectores se mantuvieran constantes en el tiempo, la participación de los inputs utilizados por el sector en el consumo total tenderían a aumentar hacia el nivel máximo del cien por ciento. El resultado es un decrecimiento ceteris paribus de la tasa de crecimiento de la productividad de la economía...

Ha sido posible observar que, en efecto, las proporciones de los sectores con productividades creciente o estancada se han mantenido constantes durante el periodo de la postguerra (n.trad.: en Estados Unidos), y que con el aumento de los precios relativos, la parte de los servicios (productividad estancada) en el gasto total y en el empleo ha aumentado dramáticamente, exactamente como lo predecía el modelo Baumol. Tendencias similares se observan en otros países".

Fuente: Baumol, Batty Blackman, Wolf (1985)



zación de la ley de Moore, ya que son impulsados por continuas reducciones de costes unitarios que son producto de innovaciones tecnológicas y de economías de escala), se observa como los nuevos productos de la Sociedad de la Información permiten aumentar la productividad especialmente en aquellos sectores más tradicionales en los que se había estancado durante siglos.

En particular, las TICs apoyan el aumento de la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo en el sector de los servicios (especialmente en los servicios que funcionan en red, como es el caso de las finanzas o del comercio), y esta transformación explica, por ejemplo, la aceleración del crecimiento de la productividad general de la economía observada en EE.UU, Australia o en los países nórdicos europeos. La enfermedad de Baumol parece haber encontrado su antídoto: la Nueva Economía.

## **I.4. El círculo virtuoso de la Nueva Economía**

En el periodo final del siglo XX, en particular durante la década de los noventa, se constatan, especialmente en Estados Unidos, modificaciones de la estructura socio-económica que desarrollan el papel central de la información, como acabamos de constatar; y al mismo tiempo se observa una nueva forma de crecimiento sin inflación y con pleno empleo, con un alto nivel de innovación tecnológica empresarial: es la llamada Nueva Economía.

La conjunción entre la Sociedad de la Información y la Nueva Economía se produce en un momento histórico en el que se acelera el proceso de difusión de la economía de mercado, en ámbitos nacionales, y en particular en el que numerosos países adoptan complejos procesos de privatizaciones y desregulaciones para aumentar la competencia y el buen funcionamiento de los mercados. Se fomenta el desmantelamiento de monopolios públicos tradicionales y se asiste a un rápido crecimiento de las funciones de economía de mercado tanto en el interior de los países industriales avanzados, como en el contexto más amplio de la mundialización, después de la caída del muro de Berlín.

La globalización o mundialización corresponde a un fenómeno de supranacionalización de la economía. Es obvio que la mecánica institucional de la globalización sigue siendo en buena parte “internacional”, es decir que se establece por acuerdo entre naciones soberanas; pero la gran innovación de este proceso reside en el impulso globalizador que ejercen las fuerzas económicas y que hace que algunos agentes económicos se eleven a un nivel de actuación “supranacional”.

Los principales aspectos de esta supranacionalización se refieren:

- al funcionamiento de la actividad financiera;
- a la percepción de los límites y de la sostenibilidad del planeta;
- al desarrollo del conocimiento, de la ciencia y de la tecnología;
- y al funcionamiento del comercio y de los sistemas productivos.

Estos aspectos tienen carácter permanente, y por ello se pueden encontrar antecedentes históricos para cada uno de ellos: siempre han existido agentes económicos interesados por actividades de dimensión mundial. Lo que hace que el periodo actual sea especial a este respecto es el apoyo que el proceso de globalización está recibiendo por parte del pensamiento económico dominante y por parte de las tecnologías de la información, tecnologías que eliminan innumerables distancias geográficas: el mercado es ahora un algoritmo de solución de problemas económicos con validez universal, y la información se desplaza a escala planetaria en tiempo real y sin obstáculos.

El impulso innovador de las nuevas tecnologías y de la liberalización del mercado está creando un proceso expansivo en los países industriales avanzados que corresponde a un modelo específico de crecimiento en el que juegan un papel especial los fenómenos mesoeconómicos, es decir, los cambios de estructuras sectoriales en las que se reflejan las actuaciones microeconómicas, y que sustentan las evoluciones de los agregados macroeconómicos. La gran novedad de la Nueva Economía es el papel motor que juegan los desequilibrios sectoriales de productividad y precios sobre el crecimiento, o sea, la recuperación del modelo de Baumol (1967) sobre el crecimiento desequilibrado y del modelo de Römer (1990) sobre el crecimiento endógeno, como puntos centrales de la explicación de los fenómenos económicos.

El punto de partida de esta explicación puede situarse en el ámbito de la productividad de los sectores económicos; impulsada especialmente por innovaciones de naturaleza tecnológica, la productividad (del trabajo y del total de los factores) aumenta más rápidamente en ciertos sectores que en el resto de la economía. En el momento histórico de la Nueva Economía, es evidente que estos sectores con fuerte crecimiento de la productividad dependen directa o indirectamente del desarrollo del paradigma tecnológico de la Sociedad de la Información.

Los excedentes de productividad o ganancias de las innovaciones generadas por este proceso se distribuyen entre los agentes productivos primarios (sueldos y beneficios) o se transmiten a los consumidores mediante reducciones de los precios (Fontela, 1994).

El proceso de redistribución de estas ganancias de las innovaciones depende de la estructura del mercado. Así en un mercado monopolístico, la empresa puede optar por una mayor remuneración de sus capitalistas y de sus empleados, evitando una reducción de precios tan importante como la que promovería un mercado plenamente competitivo.

Como era de esperar, en el modelo de la Nueva Economía la liberalización de los mercados y el desmantelamiento de numerosos monopolios, la mayor competencia contribuye a una importante disminución de los precios relativos de los bienes y servicios producidos en los sectores más innovadores.

Por otra parte, el aumento de las rentas distribuidas al trabajo y al capital favorece un crecimiento de la demanda final de los consumidores, cuya estructura se modifica, estimulada por las modificaciones de la estructura de los precios relativos, y esta demanda crece especialmente para los productos de los sectores con productividades crecientes y precios relativos decrecientes.

Así toma cuerpo un círculo virtuoso en el que la producción genera su demanda, y cuya dinámica depende esencialmente de las elasticidades-precio y de las elasticidades-renta que están asociadas a los nuevos productos (Appelbaum, Schettkat, 1997). En otras palabras, si el incremento de las rentas y la disminución de los precios de la telefonía móvil corresponden

a un servicio de comunicación muy elástico al nivel de renta (por que facilitan servicios de orden superior en la escala de consumo), y evidentemente en sentido negativo, muy elástico al nivel de precios (por ser unos servicios flexibles cuyo consumo puede ser fácilmente restringido por el usuario), es evidente que pueden producirse crecimientos explosivos de la demanda, y así se verifica en todos los países industriales avanzados.

El círculo de la Nueva Economía no es verdaderamente nuevo; un fenómeno similar pudo observarse en el periodo de las posguerra en Europa bajo el impulso del automóvil y de los bienes de consumo duradero, sectores en los que se verificaban elevadas

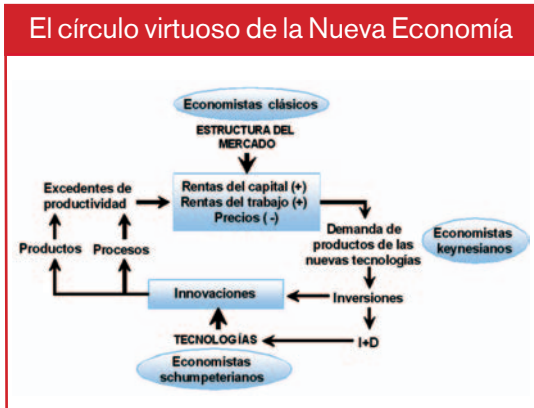
ganancias de productividad, se desarrollaba la producción de masa y que correspondían a productos con elevadas elasticidades, renta y precios; se trataba de demandas que estaban aún muy lejos de su saturación y que respondían directamente a expectativas de mayor bienestar vinculadas al final de una guerra.

Es más, este círculo virtuoso está implícito en las principales escuelas de economía: para los economistas clásicos, el círculo pivota sobre la base de la estructura del mercado y del comportamiento microeconómico maximizador de rentas y utilidades; para los economistas keynesianos el aspecto más interesante se sitúa en el ámbito de la demanda y del comportamiento macroeconómico; y para los economistas schumpeterianos en el de las tecnologías y la innovación, es decir, en el comportamiento mesoeconómico. Así para que funcione el círculo virtuoso, las fuerzas antes reseñadas del nuevo paradigma tecnológico de la Sociedad de la Información, y de la liberalización mundializada de los mercados, son indispensables, junto con una sana gestión de la economía.

Pero lo verdaderamente nuevo de la Nueva Economía es la aceleración del funcionamiento de este círculo virtuoso y el carácter revolucionario del proceso de innovación tecnológica, cuyos beneficios se están difundiendo a todas las actividades económicas.

Es importante señalar que en el círculo virtuoso del crecimiento también existe la posibilidad de pleno empleo. Mientras el aumento de la demanda estimula las inversiones de expansión, el crecimiento de la producción puede ser superior al de la productividad, con lo que necesariamente se crea empleo.

En el fondo, la existencia de este círculo virtuoso depende de todos los elementos que lo



Fuente: E. Fontela (2000)

componen (nuevas tecnologías, mercados eficientes, necesidades insatisfechas, inversiones de expansión) pero en un modo especial de la existencia de nuevas demandas con elevadas elasticidades-renta y elasticidades-precio. El movimiento expansivo se detiene cuando se saturan estas demandas, las inversiones de expansión dan paso a las inversiones de racionalización, se reduce el empleo, se frena la innovación y las estructuras de mercado se hacen más rígidas.

Así pues, para que perdure el círculo virtuoso de la Nueva Economía es indispensable que las tecnologías sigan incansablemente introduciendo nuevos productos en los mercados, y que estos correspondan a funciones de consumo con elevadas elasticidades-renta y elasticidades-precio.

## **I.5. Hacia la Sociedad del Conocimiento**

Sociedad de la Información y Nueva Economía han aportado un antídoto adecuado a la enfermedad de Baumol: ha surgido un conjunto de nuevas fuentes de productividad y de riqueza. La mejoría puede, sin embargo, ser pasajera.

No se han atenuado los problemas generales de la sostenibilidad; es más, en algunos casos éstos se han agravado.

Por un lado, la contaminación sigue aumentando, y se cierne la amenaza planetaria del cambio climático; se acerca el punto de inflexión de la capacidad de producción de petróleo y no se detiene la demanda de minerales.

Por otro lado, la cuestión social ha tomado nuevos rumbos: junto a una parte de la población que sabe aprovechar la información para aumentar su renta y su riqueza, se forma una nueva pobreza que se concentra en trabajos precarios y alienantes o simplemente en el paro y la marginación; en el interior mismo de los países industriales avanzados, las distribuciones de la renta personal que se habían concentrado en torno a la clase media, tienden a romperse de nuevo, con riquezas y pobrezas extremas; y entre países también, el abismo que separa a los países ricos y a los emergentes, de los países pobres, aumenta.

La cuestión social y el equilibrio ecológico planetario son indisociables del contenido del crecimiento económico. Aunque la Sociedad de la Información y la Nueva Economía aportan nuevos medios económicos que permitirían resolver los grandes problemas de la pobreza y de la ecología, las soluciones no son automáticas, y eso es lo que señalan las tendencias mundiales contemporáneas.

Tampoco se puede tener excesiva confianza en la sostenibilidad de los aspectos estrictamente económicos de la Sociedad de la Información y de la Nueva Economía. La enfermedad de Baumol es endémica, y su cura tiene efectos pasajeros y requiere por tanto un tratamiento permanente: una vez realizadas las fuertes ganancias de productividad en una actividad económica, éstas deben seguir produciéndose en otras actividades, sin lo cual el estanca-

miento económico está asegurado. Lo que dice el modelo de Baumol, y lo que hemos descrito como el círculo virtuoso de la Nueva Economía, es que es indispensable para que una economía crezca que siga innovando sin cesar; la productividad es devoradora de innovaciones.

En otras palabras, el paradigma tecnológico de la Sociedad de la Información y el paradigma económico de la Nueva Economía, ofrecen una plataforma de apoyo para un desarrollo más equilibrado y duradero que se puede definir como la Sociedad del Conocimiento; pero este futuro no puede ser un resultado automático de las tendencias actuales que encierran en su seno la amenaza de la insostenibilidad; tendrá que ser el resultado de acciones voluntaristas de todos



los agentes económicos, y en especial de las Administraciones Públicas.

Cada vez con mayor insistencia, la imagen de una futura sociedad más creativa, que ofrezca mayores posibilidades de realización de las aspiraciones individuales, se impone en el discurso oficial sobre el siglo XXI. La Unión Europea (estrategia de Lisboa), EE.UU y Japón promueven la idea de la Sociedad del Conocimiento como objetivo central para las próximas décadas. En este escenario central confluyen conceptos de competitividad, innovación y sostenibilidad hoy idealizados en el imaginario colectivo.

Algunos rasgos característicos de la Sociedad del Conocimiento, ya son perceptibles en las tendencias observables, y conviene destacar en particular al respecto:

- la modificación del trabajo humano, que pasa de ser preferentemente instrumental durante la era industrial, a ser cada vez más un trabajo-producto, que aprovecha los conocimientos y las capacidades creativas de los trabajadores, un trabajo-producto que está más cerca de la tradición artesana y de las profesiones liberales, que de la tradición fabril y de la organización tayloriana;

- la incorporación de "inteligencia" en los objetos que facilitan la producción y el consumo (inteligencia artificial, sistemas expertos, informática distribuida);

- el mayor peso relativo de la calidad como determinante del valor del producto (bien o

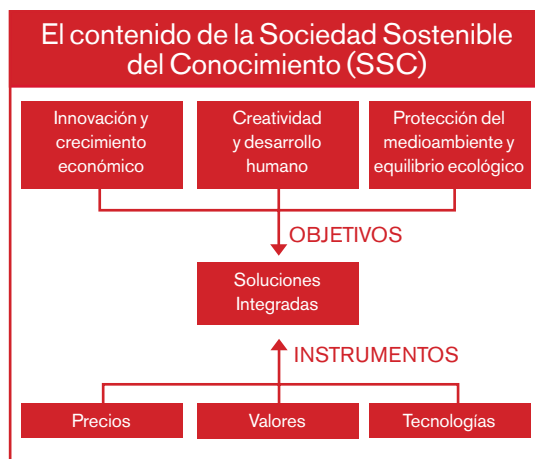
**Trabajo-instrumental y trabajo-producto**

En el mismo artículo en el que Baumol (1967) estableció las consecuencias de un modelo de crecimiento económico en el que existían sectores que aumentan fuertemente su productividad y otros que no lo hacen, este autor precisó que las diferencias de la evolución de la productividad estaban vinculadas a la naturaleza del trabajo humano. Los sectores en los que la productividad aumenta son aquellos en los que abunda el trabajo-instrumental, que, tarde o temprano, acaba siendo remplazado por una máquina; por el contrario los sectores en los que la productividad está estancada son aquellos en los que el producto de la actividad se identifica con el trabajo, y en los que por tanto, aumentar la producción implica mayor trabajo (lo que es el caso evidentemente de los servicios personales, en el trabajo artístico, en la investigación científica, en la actividad de consejo y asesoramiento, etc.).

servicio), incluyendo en la calidad conceptos amplios de respeto del entorno y de economía de los recursos planetarios.

Pero a pesar de ello, la Sociedad del Conocimiento sigue careciendo de una descripción detallada de su posible contenido, en especial no incorpora plenamente el desarrollo sostenible como evolución del concepto actual de la Nueva Economía.

La unión del Desarrollo Sostenible y de la Sociedad del Conocimiento tiene en cuenta las exigencias económicas, sociales y ambientales de las sociedades avanzadas del siglo XXI, y puede integrarse en el concepto más amplio de Sociedad Sostenible del Conocimiento (SSC).



Fuente: A. Pulido, E. Fontela (2004)

Los tres elementos constitutivos de este nuevo concepto pueden definirse con mayor precisión en términos de objetivos societales:

- en el ámbito económico, se trata de mantener vivo el mecanismo impulsor de la innovación que hemos individualizado en el círculo virtuoso de la Nueva Economía, aprovechando al máximo el conocimiento científico y técnico disponible;
- en el ámbito social, se trata de mantener el máximo nivel de cohesión social, erradicando la marginación y la pobreza, facilitando la igualdad de oportunidades y la satisfacción de las necesidades básicas, y en particular el empleo; también se trata de ofrecer la posibilidad de una realización personal del potencial creativo y del conocimiento de la humanidad;
- en el ámbito medioambiental, el objetivo societal es proteger el entorno de la contaminación y evitar la destrucción de recursos limitados a escala planetaria, utilizando plenamente los conocimientos disponibles.

Estos objetivos definen el desarrollo sostenible de la Sociedad del Conocimiento, pero aunque establecen objetivos y futuros necesarios y deseables, no serán suficientes sin una identificación complementaria de instrumentos y políticas.

En el plano de los instrumentos, las limitaciones que aparecen son de diversa índole, y se refieren al sistema económico, al sistema social y al sistema tecnológico:

- los precios son los resultados del funcionamiento del sistema económico, y como hemos visto, los precios de mercado no pueden anticipar el futuro y reflejan mal las restricciones sociales y ambientales; conseguir estímulos económicos para que la Sociedad de la

Información dé paso a la SSC, requiere precios relativos decrecientes para los elementos de la sostenibilidad, y políticas coherentes con este objetivo;

- los valores emergen del sistema social y son fundamentales a la hora de establecer la coherencia de los fines individuales con el ambicioso objetivo de la SSC; conseguir que la sostenibilidad sea un factor prioritario en el proceso de formación de valores en el siglo XXI es, también, un reto para el sistema social;
- y finalmente, es sobre el sistema tecnológico que se intentan transferir las insuficiencias de los mecanismos de precios y de valores, ya que de él se espera que sea capaz de promover innovaciones win-win, ganadoras-ganadoras, que a la vez sean económicamente rentables, enriquecedoras para los trabajadores y los consumidores, y que favorezcan el equilibrio ecológico.

La presión que ejerce el proyecto de Sociedad Sostenible del Conocimiento sobre el sistema de ciencia y tecnología es extraordinariamente elevada. Las decisiones que se tomen ahora en el campo de la política científica y tecnológica son fundamentales para el éxito de un proyecto que promete cambiar el mundo.

## I.6. Nuevas tecnologías para el siglo XXI

Aunque las técnicas de prospectiva tecnológica se inician después de la Segunda Guerra Mundial, en particular en base a las investigaciones de la Rand Corporation en EE.UU, su ordenación y sistematización tiene lugar en la OCDE con la publicación de un estado del arte de la metodología de la prospectiva por parte de Eric Jantsch (1967).

Jantsch estableció una dicotomía clara en el campo de la prospectiva entre los enfoques “exploratorios” (basados en formas diversas de identificación de tendencias, que son extrapoladas hacia el futuro) y los enfoques “normativos” (en los que se establece a priori un “futuro deseable” y se analizan los caminos alternativos para conseguirlo a partir de la situación presente).

En el campo de la prospectiva tecnológica, son esencialmente exploratorios los estudios que detectan los factores de evolución internos de las ciencias y de las tecnologías, e intentan dilucidar sus desarrollos futuros “normales” o “convencionales” (COTEC, 2002).

En general, los investigadores avanzados tienen unas ideas más o menos elaboradas de lo que su campo de investigación puede aportar en el futuro, y por ello la prospectiva tecnológica ha desarrollado métodos (Delphi, Cross-impact, análisis morfológico, etc.) para extraer la información sobre las tecnologías del futuro que puede contener el modelo mental de estos investigadores. Como en el procedimiento de consulta de los investigadores se buscan anticipaciones robustas que inciten al consenso, estas perspectivas son en general conservadoras e incapaces de detectar invenciones e innovaciones de “ruptura”; que son las que mayoritariamente acaban transformando radicalmente las estructuras tecnológicas



y económicas si encuentran un marco socioeconómico e institucional “receptivo”.

La prospectiva tecnológica de carácter normativo se sustenta principalmente en grandes proyectos públicos (p. ej. la conquista del espacio, las redes de transporte, la defensa militar), que implican a veces también la definición de objetivos para la mejora de la vida en sociedad (p. ej. en el ámbito de la sanidad, de la seguridad, de la educación y de la calidad del ambiente). En las economías de mercado, son las empresas las que especifican las investigaciones necesarias para obtener nuevos fármacos, nuevos vehículos de transporte o nuevos productos alimentarios; pero a más largo plazo, con frecuencia son los proyectos públicos vinculados al proceso de expresión de las voluntades ciudadanas, los que estructuran la demanda de nuevas tecnologías.

Puede decirse que el enfoque “normativo” está mejor adaptado para definir las tecnologías necesarias para el futuro (o sea la “demanda” de tecnologías), y que el enfoque “exploratorio” se adapta mejor al estudio del campo de los posibles en materia tecnológica (o sea la “oferta” potencial de tecnologías).

El encuentro entre prospectiva exploratoria y normativa tiene lugar en el marco de uno o varios “escenarios”, o sea conjuntos de hipótesis sobre eventos y comportamientos futuros de los agentes económicos y sociales.

A la hora de analizar las tecnologías del siglo XXI es necesario tomar como punto de apoyo un escenario relativamente convencional y referido a una situación futura más “deseada” que “prevista”. Este escenario es, para las sociedades industriales avanzadas, el escenario de la Sociedad Sostenible del Conocimiento (SSC), que acabamos de describir en la sección anterior.

La SSC plantea importantes retos para la ciencia económica, ya que afecta a los planteamientos fundamentales de la teoría del valor y de los precios. El “conocimiento” como vector de innovación, es decir de transformación de la información en riqueza, evoluciona en mercados imperfectos en los que los parámetros habituales de la maximización económica (de las utilidades, de las rentas, de los beneficios) se perciben con dificultad.

Pero es evidente, que la economía seguirá manteniendo su operatividad (ciertamente en términos diferentes) en el siglo XXI, y que esta economía condicionará y será condicionada por el cambio tecnológico.

### La demanda y la oferta de nuevas tecnologías

		Tracción de la demanda (demand pull)	
		Individual 1	Coletiva 2
Impulsión de la oferta (Supply push)	Privada 1	$T_{11}$	$T_{12}$
	Público 2	$T_{21}$	$T_{22}$

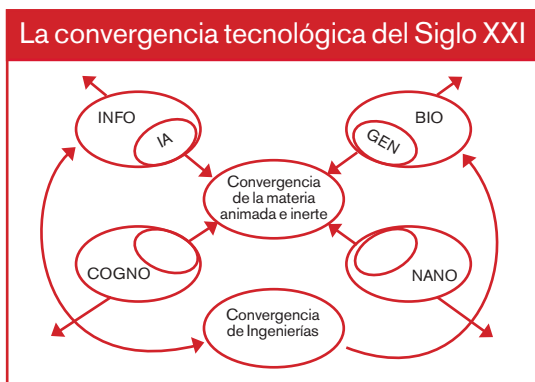
$T_{11}$ : Tecnologías que se desarrollan en función de demandas de los consumidores satisfechas por empresas privadas (p.ej.: los ordenadores personales).  
 $T_{12}$ : Tecnologías cuyas demandas se sitúan en la colectividad y que son satisfechas por productos de empresas privadas (p.ej.: las instalaciones tecnológicas de los hospitales).  
 $T_{21}$ : Tecnologías demandadas individualmente por los consumidores que conllevan actividades públicas (p.ej.: Minitel francés).  
 $T_{22}$ : Tecnologías de demanda colectiva satisfechas por servicios públicos (p.ej.: trenes de alta velocidad).



Como acabamos de señalar, al abordar la exploración del cambio tecnológico en el siglo XXI es importante separar las tecnologías ofertadas, que se apoyan en desarrollos autónomos de la ciencia (supply pushed), y las tecnologías demandadas por el escenario de cambio socioeconómico (demand pulled), una distinción que también es muy similar a la de los enfoques exploratorios y normativos de la prospectiva.

### a. La nueva “oferta” de la ciencia

Después de un largo periodo histórico de segmentación y fomento de la autonomía de las disciplinas científicas, el siglo XXI parece empezar a caracterizarse por un cierto proceso de convergencia de numerosas disciplinas.



El caso más evidente es el de la llamada convergencia molecular o convergencia en el análisis de lo infinitamente pequeño, en la que están directamente implicados varios campos de investigación emergentes como el de las nanotecnologías y el de las biotecnologías. El acercamiento del análisis de la materia viva y de la materia inerte, de los genes y de los átomos, abre extraordinarias posibilidades, en particular cuando se asocia al desarrollo de las infotecnologías y de las ciencias cognitivas.

Los recientes informes de la Academia de Ciencias de los EE.UU (NSF, 2002), de la Comisión Europea (CE, 2004) y del Gobierno de Canadá (STFD, 2005) evocan la inmediatez de estos nuevos desarrollos multidisciplinares en el campo de la convergencia entre desarrollos de las nanotecnologías, las biotecnologías, las tecnologías de la información y las ciencias cognitivas (la llamada convergencia nano-bio-info-cogno, o convergencia NBIC), y sus posibles implicaciones en términos de invenciones e innovaciones que pueden cambiar radicalmente las facultades humanas y los procesos sociales.

La capacidad que se está desarrollando para intervenir a nivel molecular adquiere especial relevancia para la Sociedad del Conocimiento, cuando se abordan temas de información y de conocimiento.

La convergencia de los desarrollos nano-bio-info, con los progresos de la investigación en el campo de las ciencias cognitivas (que cubre las neurociencias, al mismo tiempo que la psicología y la filosofía) es esencial para la comprensión y la mejora de los procesos de adquisición, acumulación y utilización del conocimiento por los seres humanos.

Esta evolución hacia la convergencia científica en lo infinitamente pequeño es, por tanto, la piedra angular del desarrollo tecnológico de la Sociedad del Conocimiento.

## **b. La nueva “demanda” de tecnología**

El potencial tecnológico evocado por la convergencia podrá proporcionar la base estructural de la Sociedad del Conocimiento, si encuentra una demanda apropiada, si responde a una necesidad valorada por la futura sociedad.

Los campos de aplicación posible de las tecnologías de la convergencia son muy variados, y definen algunas demandas a largo plazo que ya se empiezan a detectar (CE, 2005):

- en la industria, la tendencia a la miniaturización ha marcado el pasado reciente, y parece responder a la necesidad de reducir la demanda de materiales y de energía; extrapolada, esta tendencia justificaría el desarrollo de nano-manufacturas o de bio-ordenadores;
- en la sanidad, son numerosas las tendencias que como el aumento de la esperanza de vida, o la integración de la gestión personal de la salud en el estilo de vida, promueven una demanda de interpretación amplia del papel de la genética o de procesos de regulación individual en los que necesariamente intervienen sistemas de información y elementos cognitivos;
- en modo muy similar, la demanda de conocimiento es una demanda de educación que se transmite también al desarrollo de las tecnologías de la convergencia nano-bio-info-cogno (NBIC);
- la seguridad, el medioambiente, el transporte y la energía son algunos otros de los campos en los que el paso a una Sociedad del Conocimiento implica transformaciones de los sistemas sociotécnicos en cuya nueva composición deben poder intervenir las tecnologías de esta convergencia en el nivel de lo infinitamente pequeño.

Esta última observación plantea una necesidad instrumental que corresponde a lo que podríamos denominar una “ciencia del diseño” centrada en el estudio de los sistemas complejos.

A medida que se abandona el reduccionismo de las disciplinas, y que aumentan los márgenes de maniobra para las decisiones (otra característica de la disponibilidad de mayor conocimiento por parte de los agentes económicos), crecen rápidamente la complejidad de los sistemas, las interdependencias, las retroalimentaciones. La Sociedad del Conocimiento, con el trabajo-producto, la apuesta por la calidad y la sostenibilidad, y la convergencia tecnológica, es una sociedad compleja en la que el diseño de los entornos en los que la mano invisible de los mercados pueda actuar libremente maximizando el bienestar colectivo, requiere un profundo análisis científico (la ciencia del diseño).

## **I.7. Oportunidades para el sistema productivo**

Las NBICs y su incorporación al proyecto de Sociedad Sostenible del Conocimiento generan oportunidades para la actividad empresarial, a la que confieren características específicas post-industriales.

El estilo, la manera de trabajar, hasta la forma jurídica de las empresas necesitan cambiar ante el nuevo reto productivo.

Para identificar la naturaleza de estos cambios, destacamos tres grandes áreas de nuevas oportunidades:

1. el área de los sistemas sociotécnicos;
2. el sector de los servicios;
3. y el sector de las industrias tecnológicamente avanzadas.

#### **a. Sistemas sociotécnicos**

Se entiende por sistema sociotécnico el conjunto de actividades productivas que responden a una función de consumo, como puede ser la alimentación, la vivienda, el transporte, la comunicación, el turismo, la salud, la seguridad, la educación, o el ocio.

Las funciones de consumo requieren productos, bienes y servicios, que son suministrados por el sistema productivo de manera diferente en el tiempo y en el espacio.

A título de ejemplo, el sistema sociotécnico que proporciona la función alimentaria es hoy muy diferente del que abastecía a los ciudadanos hace cincuenta años (véase por ejemplo el papel de las cadenas del frío, de las empresas distribuidoras, de los procedimientos de conservación, de los equipos domésticos para cocinar, etc.), y seguirá su rápida transformación durante las próximas décadas, interpretando las necesidades de consumidores con mayores conocimientos y capacidad de elección. La introducción de las NBICs tiene entidad suficiente para transformar radicalmente el sistema sociotécnico de la alimentación: por el lado de la demanda, la posibilidad de actuación sobre los sensores humanos del gusto (percepción de sabores, interpretación visual, olfato, oído) preconiza un cambio cualitativo importante, mientras que por el lado de la oferta no es difícil imaginar sistemas que modifican la naturaleza de los productos (por ejemplo, incorporando nuevas propiedades, o garantías de seguridad sanitaria) o de su distribución (por ejemplo, reduciendo el tiempo de compra).

Aunque las NBICs crean oportunidades en todos los sistemas sociotécnicos, hay dos que destacan positivamente y que probablemente servirán de punto de partida para esta nueva oleada de tecnologías: la salud y la educación.

En lo que se refiere a la salud, las líneas tecnológicas de las NBICs son esperanzadoras y van desde la medicina genética, hasta los nano-sensores conectados a sistemas de información. Estas oportunidades tecnológicas replantean el funcionamiento de unos sistemas sociotécnicos, en los que interviene masivamente en Europa la Administración Pública.

Lo mismo ocurre en el sector público educativo que recibe una nueva responsabilidad (el fomento de la capacidad individual de desarrollar vectores de conocimiento propios utilizando al máximo las posibilidades del cerebro) junto con instrumentos de las NBICs que pueden facilitar los procesos de aprendizaje.

En general, el hecho de que las NBICs encierren posibilidades de transformación de los

grandes sistemas sociotécnicos, confiere nuevas responsabilidades a las Administraciones Públicas a la hora de representar en la actividad económica los intereses de la colectividad.

Los cambios en los sistemas sociotécnicos siempre han sido el resultado de una interacción entre las fuerzas de la dinámica empresarial privada y los valores societarios representados por los poderes públicos y en general, por los mecanismos de expresión del interés general. Las NBICs (y el correspondiente diseño de la Sociedad Sostenible de Conocimiento) plantean nuevos retos para esta interacción público-privada que configura amenazas y oportunidades para ambos tipos de agentes.

## b. Los servicios

La evolución de la sociedad hacia las actividades de servicio, y en particular hacia el trabajo-producto (Baumol, 1967) aparece como una tendencia profunda que lleva a la Sociedad del Conocimiento. En este proceso, las oportunidades empresariales más evidentes se concentran en los servicios de alto valor añadido en los que la función productiva requiere un nivel elevado de conocimientos.

Cuando se analizan las actividades del trabajo-producto en la Sociedad del Conocimiento, algunas destacan por su singular importancia:

- los brain-workers (o trabajadores del conocimiento) de los que se espera garanticen el funcionamiento de los sistemas sociotécnicos;
- los empresarios, promotores y gestores de los sistemas sociotécnicos;
- los investigadores, de cuya actividad depende el flujo permanente de innovaciones que transforman y mejoran los sistemas sociotécnicos;
- y los profesionales dedicados al buen

## Los brain-workers (trabajadores del conocimiento)

Los trabajadores del conocimiento son innovadores técnicos y sociales; diseñan e implementan sistemas de soporte físico y soporte lógico y/o grandes proyectos complejos relacionados con la investigación y la tecnología. Como norma general, tienden a ser productores muy creativos (personal técnico, de planificación, gestores de proyectos, diseñadores, arquitectos de sistemas, es decir, investigadores en el más amplio sentido) en lugar de simples usuarios profesionales, altamente cualificados, de las nuevas tecnologías (especialistas en mantenimiento y reparación o programadores)

No obstante, este último grupo que se denominará personal de apoyo, es indispensable para que el primero desarrolle su actividad innovadora. Si hubiera que representarlos a través de un diagrama, los trabajadores del conocimiento estarían compuestos por un núcleo de productores altamente creativos y una zona periférica esencial de personal de apoyo, que funciona conjuntamente como un todo innovador en cabeza de las nuevas tecnologías con un gran contenido en investigación.

Fuente: von Gizycki, Ulrici, 1988

## La innovación en los servicios

Mientras que la producción de los objetos permite operaciones de almacenamiento o de uso repetitivo, la producción de servicios está vinculada a un consumo instantáneo sin acumulación. La única acumulación posible se refiere a los capitales intangibles que el servicio proporciona en forma de "conocimiento"; y que el usuario del servicio puede interiorizar.

La innovación en los servicios tiene que ver con un proceso cognitivo, y requiere una simbiosis positiva entre oferta y demanda de conocimientos.

Acumulación de capital físico y de infraestructuras  
· fábricas · equipos · libros  
· viviendas · vehículos

Acumulación de capitales intangibles  
· tecnologías · formación  
· calidad · sabiduría  
· financiación · bienestar  
· organización

funcionamiento de la sociedad en su conjunto y de las condiciones de vida de sus miembros (profesiones liberales, educadores, agentes de la seguridad, etc.).

Todas estas actividades de trabajo-producto en las que se verifica la necesidad de un comportamiento creativo y de una realización de objetivos personales vocacionales en el trabajo, son actividades de servicio, en las que pueden manifestarse diferentes estructuras productivas.

Desde la producción del trabajador independiente, vinculado a la demanda por la red, hasta soluciones flexibles de asociacionismo o corporativismo, o hasta fórmulas nuevas que permitan una interacción positiva entre producción y financiación, con o sin ánimo de lucro, la estructura productiva de la Sociedad del Conocimiento está por hacer. Es sin duda en este campo de la reestructuración de los servicios, en el que la innovación apoyada en la visión de futuro de las NBICs y de la SSC, ofrece mayores oportunidades de desarrollo productivo en los próximos años.

### **c. La industria avanzada**

De la misma manera que la Revolución Industrial no ha implicado la desaparición de la agricultura sino su profunda transformación al amparo de una excepcional progresión de la productividad, la revolución de las NBICs y de la Sociedad Sostenible del Conocimiento, aunque potencia el desarrollo de las actividades de servicios, también se apoya en la constante progresión de las ganancias de productividad en la industria.

En el modelo del siglo XXI la innovación en la producción de los objetos agrícolas e industriales seguirá siendo la base en la que se sustentará el crecimiento de las rentas y de la riqueza económica.

¿Dónde se sitúan las oportunidades de la actividad industrial?

Sin duda ocuparán un lugar preferente entre estas oportunidades aquellas vinculadas a los procesos de alto valor añadido, es decir aquellas que incorporan mayores conocimientos. Esto implica un acercamiento entre la introducción de innovaciones y su gestación, entre productores e investigadores. De ahí que las principales fuentes de las nuevas actividades industriales se sitúen en el interfaz entre la I+D y empresa, o sea en los “start-ups” y otras actividades de creación de PYMES tecnológicamente avanzadas.

Destacan en este ámbito los sectores productivos directamente afectados por los cambios en los sistemas sociotécnicos: la industria farmacéutica y de instrumentos de precisión vinculados a la salud; la agroalimentación y la dietética; los materiales de construcción y las infraestructuras; la producción y distribución de la energía; los vehículos y medios de transporte y movilidad; etc.

En estos campos como en el resto de los sistemas sociotécnicos organizados para la vida humana, las tecnologías genéricas de las NBICs abren nuevos espacios para la mejora de características fundamentales de los recursos animados e inertes que se utilizan para las actividades económicas de producción y de consumo.

La vitalidad creativa empresarial de las tecnologías de la información está ampliamente demostrada con el desarrollo masivo de las TICs; el mismo fenómeno está en marcha en el campo de las biotecnologías, y, en fase más embrionaria, en el campo de las nanotecnologías. Las ciencias cognitivas no son todavía una base para oportunidades reales de negocio en su actual fase de desarrollo, aunque las neurociencias están progresando rápidamente en sus aplicaciones médicas. La convergencia de las cuatro tecnologías NBIC tiene todavía un largo camino por recorrer.

Pero para sectores esenciales de la actividad económica como el sector químico y el sector agroalimentario, ya se vislumbra la importancia estratégica de las NBICs, lo que hace que junto a la efervescencia de las PYMES de alta tecnología, el desarrollo puede apoyarse también en oportunidades detectadas por grandes empresas.

Con PYMES y/o grandes empresas, los nuevos desarrollos industriales ya no se apoyan en el trabajo-instrumental a bajo coste, cuya demanda se desplaza hacia países en vías de industrialización. La llegada de la Sociedad Sostenible del Conocimiento también implica un rediseño, no solamente de los principales sistemas socioeconómicos, sino también de la empresa industrial para poder integrar en ella la capacidad de innovación de emprendedores y brain-workers.

La revolución en curso de la economía industrial, es al mismo tiempo una revolución de la organización empresarial que abre la puerta a la imaginación.



## Capítulo II

# El entramado científico-tecnológico NBIC y los “caminos críticos”

La convergencia NBIC se entiende en el presente informe como un nuevo campo de investigación multidisciplinar de las interacciones entre sistemas vivos y sistemas artificiales para el diseño de dispositivos que combinan la nanotecnología con la biotecnología (Bio), tecnologías de la información y las telecomunicaciones (Info/TICs), y las ciencias cognitivas (Cogno).

La nanodimensión, característica principal de la NBIC, y la consiguiente ciencia, tecnología y comercialización que se desarrollan alrededor de ella en el mundo son ya una realidad. En el 2004, Gobiernos, empresas e inversores de todo el mundo gastaron conjuntamente más de 8,6 miles de millones de dólares en I+D+i en nanotecnología. Ese mismo año, 1500 empresas en todo el mundo han anunciado planes de I+D+i en esa área, y de éstas, el 50% en Norteamérica<sup>1</sup>. La comercialización de los productos resultantes no es una utopía, y muchos ya están en los escaparates de los grandes almacenes.

Insertarse con éxito en el proceso de gestación de la nueva ola de convergencia ciencia-tecnología “nano-bio-info-cogno” implica comenzar por clarificar cual es, para dicha convergencia europea y mundial, el entramado científico-tecnológico que subyace. Dicho entramado está caracterizado por la complejidad de las interrelaciones de influencia/dependencia que

1. Cabe mencionar empresas como: Dupont, Raytheon, Dow Corning, Chevron Texaco, Volkswagen, Microsoft, Basf, Johnson & Johnson, Intel, Sumitomo Chemical, Glaxo Smithkline o IBM.



prevalecen entre sus principales componentes, así como por la marcada convergencia de los mismos. Identificar los parámetros que guían dicho proceso de convergencia implica:

- la identificación óptima de dichos componentes (herramientas, tecnologías, materiales, investigación y ciencia, sectores de la economía, etc.) para cada una de las áreas NBIC;
- la definición de sus interrelaciones;
- el análisis del complejo entramado resultante (a través de métodos gráficos, análisis estructural y/o uso de otras metodologías); y
- la elaboración de las conclusiones y recomendaciones de dicho análisis, y en particular aquellas que contribuyan a dibujar un posible “camino crítico” entre todas las vías posibles hacia dicha convergencia.

## II.1.NBIC: Una realidad “bottom-up” compleja y convergente

### NBIC

#### Convergencia: las cuatro tecnologías

1. Se solapan
2. Se basan en procesos fundamentales comunes
3. tienen capacidad de “reproducirse”
4. Tienen aplicación a nivel del individuo
5. Son de interés para el público y la sociedad

En la escala de 1 a 100 diámetros atómicos asistimos hoy en día a una confluencia interdisciplinar en la que áreas como la física, química, biotecnología, ciencia de materiales, las TICs, la inteligencia artificial, las neurociencias o los sistemas complejos y la simulación, por no citar más que algunos, confluyen en principios teóricos y técnicas experimentales similares. La convergencia de estas áreas es el resultado de esa confluencia cuya complejidad queda pa-

tente a nivel de sistemas, interconexiones e interacciones.

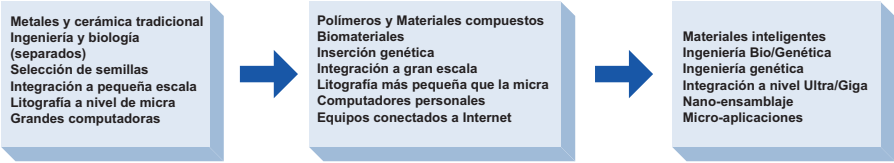
Como se vio en el capítulo anterior, la convergencia NBIC se produce además en el camino hacia la sociedad sostenible del conocimiento de principios de este siglo XXI. En ella, el valor del trabajo se mide cada vez más en términos de contenido en conocimiento, un factor de producción que por sus marcadas características de “bien público” posee la capacidad de generar riqueza sin grandes acumulaciones de capital y trabajo. Esto último es palpable y caracteriza la particular escala a la que pueden desarrollarse los procesos de generación, distribución y aplicación del conocimiento en las cuatro tecnologías NBIC.

Es ilustrativo recordar a este respecto que hace pocos años, y en el campo de la biotecnología, aislar una proteína para su uso en un compuesto farmacéutico solo podían hacerlo empresas con enormes recursos capaces de realizar importantes inversiones en capital. Hoy, un investigador de doctorado aislado puede, a través de técnicas de ADN recombinante, reproducir la misma proteína en un laboratorio. En nanotecnología de semiconductores podríamos muy pronto constatar, a través de la nanomanufactura “bottom up” y el autoen-

**CUADRO 1**



**TENDENCIAS**



**META-TENDENCIAS**



**CLAVES HACIA LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de RAND MR 1307 –Tab-3.3 y NIC (USA)

samblaje, como pequeños grupos de científicos inmersos en la sociedad sostenible del conocimiento sustituyen a grandes empresas aún ancladas en la “nueva economía” de finales del siglo pasado. En definitiva, y en plena SSC, debemos estar preparados para redefinir los conceptos de escala y su importancia en la generación de riqueza.

La clave “bottom-up” del nuevo modelo de crecimiento que acompaña el proceso de convergencia NBIC va a acarrear una importante reconsideración de los modelos sociológicos, científicos, tecnológicos, económicos y sociales aún imperantes. En definitiva, cambian los agentes económicos y su papel en los procesos tecnológicos y productivos y se transforman los factores de producción clásicos, procesos que precisan, a su vez, importantes cambios de percepción del papel de la innovación y de la convergencia NBIC en dicho modelo.

## II.2. El entramado científico-tecnológico NBIC

Si las cuatro tecnologías NBIC requieren para su desarrollo de procesos y de productos una filosofía “bottom-up”, abordar de forma adecuada el grado de complejidad de los sistemas que las sustentan es tarea que requiere a su vez de enfoques de esa misma naturaleza en términos analíticos y metodológicos.

La complejidad no es monopolio de la ciencia a escala molecular o atómica, y sin embargo, y a escala global, la convergencia NBIC viene siendo abordada en años recientes de forma poco estructurada, y en todo caso poco acorde con el grado de complejidad que conlleva la interpretación de sus implicaciones e interrelaciones. Una de las razones es quizá que los trabajos de la National Science Foundation en EE.UU, de la Comisión Europea y de Canadá<sup>2</sup>, que coinciden al identificar el núcleo de la futura ola de la innovación en la llamada convergencia nano-bio-info-cogno: convergencia a nivel científico de la investigación a escala molecular (átomos, neuronas, genes y bits) y convergencia tecnológica entre las diferentes ingenierías, son enfoques relativamente recientes. Lo mismo sucede con el desarrollo de otros estudios e investigaciones a nivel nacional o internacional en este ámbito, y cuyo énfasis sigue centrándose en un enfoque relativamente aislado de cada una de las cuatro tecnologías, sin ahondar en las interrelaciones entre éstas.

Por todo ello, para superar la fase de “verdad dogmática” del fenómeno de las tecnologías convergentes a escala nanométrica se requiere ahora comenzar a aclarar sus fundamentos estructurales. El presente informe no podría responder a la necesidad de una mejor captación del alcance de las tecnologías convergentes NBIC, del establecimiento de un balance útil de la situación en España, y menos aventurarse a adelantar recomendaciones para nuestro país en este ámbito, sin avanzar en una de las asignaturas pendientes de la comunidad científica internacional en este ámbito: el análisis de la descripción del entramado científico-tecnológico NBIC.

2. Ver NSF (2002), EC (2004) b, y STFD (2005)

### II.2.1. La convergencia NBIC se ancla en el sistema económico

En la SSC, y habida cuenta de las reflexiones anteriormente expuestas, las ventajas competitivas de EEUU, Japón o el resto de Europa en estas áreas todavía pueden ser compartidas por países como España, y ello si se aborda este reto con los medios adecuados y una multidisciplinariedad eficiente que imponga la fusión de campos económicos, científicos y tecnológicos diversos, así como capacidad innovadora en la creación de mecanismos que se alimenten de la fluidez de relaciones entre investigadores, empresas y administración.

A pesar de la forma en que se produjo su aparición, la convergencia nano, bio, info y cogno no es solo un concepto abstracto de ciencia y tecnología cuyos desarrollos pueden mejorar las capacidades humanas y disparar la innovación tecnológica. Las cuatro áreas científico-tecnológicas constituyen, cada una de ellas, subsistemas abiertos dentro del nuevo modelo de crecimiento de la SSC. Entender el funcionamiento en el interior de esos subsistemas, así como las interconexiones entre éstos y el sistema económico en su sentido más amplio, es lo que puede permitir avanzar precisamente en el diseño de estrategias que permitan que la convergencia NBIC constituya uno de los futuros motores de la economía y de la sociedad española y europea<sup>3</sup>.

Por otro lado, anclar en el sistema económico, en el nuevo modelo de crecimiento, es para las tecnologías convergentes NBIC, tener la oportunidad de jugar plenamente su papel en el nexo ciencia-tecnología-comercialización, junto con los protagonistas de la sociedad sostenible del conocimiento: científicos, empresarios y administración. Para las empresas, la apropiación / generación del conocimiento científico-tecnológico constituye cada vez más su motor en la economía sostenible del conocimiento, un motor cuya puesta en marcha requiere la transformación de proyectos en negocio a través, entre otros, de procesos “start-up”<sup>4</sup>. Así ocurrió en el campo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), como en el de la biotecnología durante el periodo de la nueva economía de finales del siglo XX, y así debería ocurrir ahora en el periodo de la sociedad sostenible del conocimiento de principios del siglo XXI, como lo veremos en capítulos posteriores de este informe.

### II.2.2. ¿”Top-down” o “bottom-up”? el caso particular de la “Info”

En el círculo virtuoso de la Nueva Economía las tecnologías de la información y de las telecomunicaciones (TICs) han jugado un papel primordial. Las ganancias de las innovaciones en este ámbito han venido generando, tal y como se expuso en el Capítulo I, importantes

3. En el área de las nanociencias y la nanotecnología, el Instituto Foresight y Batelle, lanzaron, el 21 de Junio de 2005, el proyecto de un “Mapa Tecnológico para Nanosistemas productivos”. Esta iniciativa innovadora será dirigida por un grupo de expertos en nanotecnología. Cabe asimismo mencionar, a este respecto, los esfuerzos por una visión multidisciplinar y global de la nanotecnología recogidos en un intento importante de clasificación contenidos en un reciente informe sobre la nanotecnología en España (Fundación Madri+d, 2005).

4. Así, los proyectos seleccionados por las empresas en el marco de sus actividades de I+D “transitan” hacia “start-ups” para ser vendidos en venta comercial o lanzados en Bolsa.

5. Ver sección II.3 más abajo.

excedentes de productividad. En la transición hacia la SSC observaremos<sup>5</sup> como las TICs (Info) han facilitado el desarrollo de la biotecnología (TICs -- Bio), y se adentran paulatinamente en las dimensiones científico-tecnológicas de la Cogno (TICs --Cogno). El desarrollo de la bioinformática y la neuroinformática son el resultado directo de dichos efectos marcadamente unidireccionales.

Por el contrario, frente a la Nano, y a medida que la etapa de la Nueva Economía va quedando atrás, la relación va transformándose, como veremos más adelante, en un efecto marcadamente bidireccional. Así, al impacto tipo “nueva economía” de (TICs\_Nano) generando mayor eficiencia y productividad en nanociencia, en la elaboración de herramientas para la nanotecnología, y en las diversas ramas de aplicación nanotecnológica, le acompaña el creciente progreso en la otra dirección (Nano\_TICs). Es este último un proceso de tipo “bottom-up” y se produce como consecuencia de la importancia que están tomando determinadas nanotecnologías para el desarrollo de las propias TICs (nanoelectrónica e informática o nanotecnologías para las telecomunicaciones). Sin embargo, este último impacto inverso, no es aún muy relevante en el caso de la Bio (Bio\_TICs) o de la Cogno (Cogno\_TICs).

La posible explicación de que aún prevalezca la unidireccionalidad frente a la bidireccionalidad causal de las TICs residiría en el carácter “top-down” de las transformaciones productivas de éstas últimas, transformaciones de tipo “miniaturización” heredadas de procesos innovadores y tecnológicos propios del periodo de la Nueva Economía y que aún prevalecerán por algún tiempo frente a Bio y Cogno.

Desde un planteamiento de prospectiva, podría decirse que en los próximos años, y a medida que nos adentremos en la SSC, la convergencia tecnológica NBIC debería también facilitar la entrada en juego de las transformaciones “bottom-up” en la Info (TICs), y ello a través del creciente impacto, desde la Bio, de los desarrollos en la electrónica molecular, DNA computacional o la computación cuántica, y desde la Cogno, de aquellos que se produzcan en la neuroinformática o la inteligencia artificial.

Las reflexiones anteriores justifican que a pesar de que se consideren plenamente las interrelaciones entre las cuatro áreas, el presente informe solo desarrolle individualmente el análisis de los subsistemas Nano, Bio y Cogno, dándole un tratamiento a la Info (TICs) común frente a las otras tres. En definitiva las TICs, tecnologías aún marcadamente “top-down” hacia la miniaturización, juegan en la convergencia NBIC un papel de agente dinamizador / catalizador en plena transformación y son por ello abordadas como tal.

### **II.2.3. El concepto de entramado científico-tecnológico**

A pesar de existir unos primeros análisis importantes por su contenido en los informes de Estados Unidos de 2002 y europeo del 2004, que integran, aunque de manera desordenada, los componentes de esos subsistemas, no ha habido hasta la fecha análisis exhaustivos sobre la estructura imperante en cada subsistema ni sobre la interrelación entre ellos mismos.

Un repaso al estado del arte respecto a los subsistemas NBIC permite constatar que en cada uno de ellos se entremezclan aspectos científicos con aquellos relativos a la tecnología tales como herramientas para tecnología aplicada, aquellos relativos a la ingeniería, los relativos a los materiales, procesos o productos generados por dicha tecnología, a los sectores económicos que interaccionan con ellos, o aquellos sobre sostenibilidad, patentes, ética, o sociales. Abordar el entramado científico-tecnológico es tratar de estructurar, de ver a través de ese bosque complejo y convergente.

## II.2.4 El entramado Nano

En ciencia y tecnología “Nano” es la milmillonésima parte de un metro. En esa dimensión de convergencia la nanotecnología y las nanociencias pueden definirse como “el conjunto de técnicas y ciencias en las cuales se estudian, manipulan y obtienen de manera controlada, materiales, sustancias y dispositivos de dimensiones nanométricas”<sup>6</sup>. En el desarrollo de la Nano pueden distinguirse cuatro áreas claramente diferenciadas: las nanociencias, las herramientas para las nanotecnologías, las nanotecnologías en sí mismas, y los nanomateriales que son producto de dichas tecnologías.

Tal y como puede observarse el Diagrama 1, en el ámbito de las nanociencias son protagonistas la ciencia de materiales y la física en sus diversas modalidades (teórica, cuántica, molecular, nuclear, de superficies de la materia condensada, etc) dirigidas hacia las aplicaciones Nano. Se consideran asimismo en este subgrupo otras ciencias y aplicaciones científicas para la Nano tales como el estudio de los dispositivos moleculares o de los biosistemas a nanoescala.

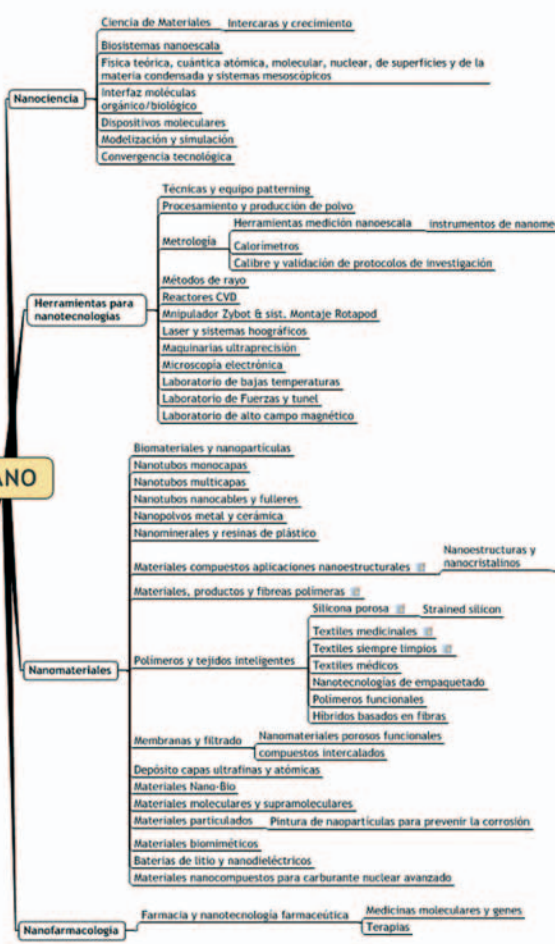
6. Ver: Fundación Madrid, (2005)

DIAGRAMA 1



# NANO

## Nanotecnología

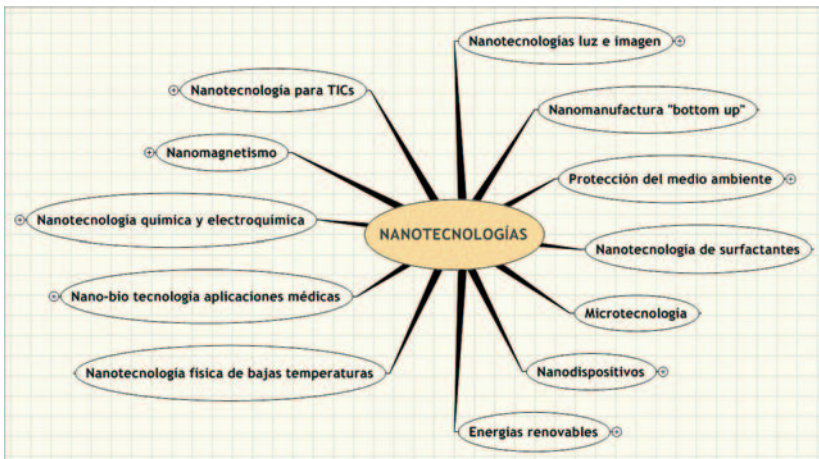




Adentrarse en la “nanocadena” productiva es constatar las dificultades para generar innovación en nanotecnología si no se dispone de las herramientas para ello. Sin instrumentos que permitan, por ejemplo, la observación nanoscópica no puede avanzarse en la fase de aplicación o nanomanufactura. La metrología, los láser y los sistemas holográficos, la microscopía electrónica o los laboratorios con tecnología de bajas temperaturas, de efecto túnel o de alto campo magnético, son algunas de esas herramientas indispensables para el avance científico y tecnológico en este área. Su presencia representa el pistoletazo de salida en la carrera nanotecnológica. Como veremos más adelante, su influencia en el funcionamiento de toda la nanocadena es primordial. De hecho, la disponibilidad por diversas circunstancias, incluso a veces fortuitas, de algunas de estas herramientas, ha sido en muchas ocasiones la clave de los primeros pasos logrados en algunos países como España en el campo de las nanociencias.

El tercer eslabón lo constituyen las muy diversas nanotecnologías que vienen desarrollándose a nivel global y que pueden clasificarse en función del campo científico-tecnológico con el que interactúan. Así, las nanotecnologías pueden inyectar su potencial innovador en áreas como las TICs, tal y como se comentó más arriba, pero además lo están empezando a hacer en campos como la química y la electroquímica (bioelectrocatalisis, química supramolecular o tecnologías de separación).

Pero quizá donde el potencial de expansión y aplicación se adivina más grande sea en las nano-bio tecnologías para aplicaciones médicas y de salud, así como en nanofarmacología.



El Diagrama 1 contiene la inmensa variedad de aplicaciones en tecnología de sensores para el monitoreo de salud a distancia, distribución de medicamentos selectivos, ingeniería de tejidos, motores moleculares, virus artificiales o la administración de fragmentos de DNA en terapia génica de la genómica nano, por no citar más que algunos ejemplos.

Corrientes actuales de investigación ponen de relieve el potencial y la necesidad de pluridisciplinariedad para abordar los retos de la investigación y la ingeniería en áreas como ésta en las que literalmente se solapan las tecnologías convergentes NBIC. Investigadores e ingenieros de esas áreas, actúan cada vez más de forma interdisciplinar y en los mejores casos van desarrollando su visión emprendedora.

Las nanotecnologías de luz e imagen representan asimismo un amplio campo de aplicación. Nos referimos aquí a desarrollos tales como la nanofotónica, la óptica, la imaginería biomédica, o la nanolitografía. La manufactura “bottom-up” que permite, como veremos más adelante, la creación de nanomateriales tales como nanopolvos, nanotubos, etc., es un área clave junto con la fabricación de nanodispositivos. Finalmente, y aunque se están desarrollando más lentamente, las nanotecnologías para el fomento de las energías renovables, o de la protección ambiental son también prometedoras. A este respecto, la fabricación de colectores solares flexibles “bio-inspirados”, las aplicaciones a celdas de carburante, electrónica de vehículos, el diseño de catalizadores o la mejora de las técnicas de filtrado con nuevas membranas y tamices moleculares para la purificación de aguas, son solo algunas de las aplicaciones tecnológicas.

Los países más avanzados en la nanocadena productiva, aquellos en los que algunas innovaciones nacidas de la nanociencia han hecho su recorrido tecnológico y empresarial, están ya hoy produciendo nanomateriales (nanotubos, nanopolvos, materiales compuestos para aplicaciones nanoestructurales, polímeros y tejidos inteligentes, membranas, materiales biomiméticos, materiales, productos y fibras polímeras, etc.) con aplicaciones muy diversas. Con las limitaciones lógicas en cuanto a la dimensión de las cantidades de éstos últimos que algunos países como Estados Unidos o Japón están en capacidad de producir, la nanomanufactura se expande y puede decirse que la escala reducida no impide la proliferación de aplicaciones comercializables muy diversas.

### De la utopía a la realidad: Aplicaciones en comercialización para los nanomateriales

- Ropa de ski (mejoras contra viento, agua, tejido respirable)
- Raquetas y pelotas de tenis (reforzadas con nanotubos)
- Vendajes (plata nanocristalina contra microbios para quemados)
- Pantallas orgánicas para cámaras digitales
- Crema facial (cápsulas de nanoingeniería que transportan vitamina D en profundidad en la piel).
- Gafas anti-reflejo, anti-niebla, contra el sol (nanopartículas de dióxido de titanio y nanofilms).
- Moldeados para coches: materiales nanocompuestos que generan reducciones de peso del 7%.

Fuente: Luxresearch (2004)

## II.2.5 El entramado Bio

El desarrollo de la biotecnología a nivel mundial precede ampliamente al de la nanotecnología. Su entramado científico-tecnológico se ha venido fraguando ya en el marco de la sociedad de la información y de la Nueva Economía que marcó el final del siglo XX. No se pretende en este documento realizar una aproximación exhaustiva de tan complejo y desarrollado subsistema. No hay que olvidar que el objetivo aquí es la perspectiva NBIC en su conjunto, y por lo tanto se ha limitado el análisis a identificar, en la medida de lo posible, el entramado de este subsistema en tanto en cuanto los desarrollos aquí descritos han entrado ya, o tienen el potencial de hacerlo muy pronto, en el marco de la convergencia NBIC. La idea es darle la suficiente solidez a las conclusiones que se derivan en el presente informe sobre las tecnologías convergentes NBIC.

Para la identificación del entramado Bio se ha seguido una metodología similar a la desarrollada en el punto anterior con la Nano limitando y agregando, eso sí, las categorías y sub-categorías que se presentan en el Diagrama 2.

Las biociencias, las ciencias de la vida, la biología molecular, técnicas y metodologías de bioprospección, etc., han estado siempre en la raíz de los éxitos y el desarrollo de la biotecnología en sus diferentes facetas. La biotecnología tiene hoy una contribución importante y sólidamente anclada en determinados sectores de las economías más avanzadas.

En el ámbito de la biotecnología para agricultura y alimentación la prospectiva NBIC dibuja campos de acción prometedores en áreas como los nuevos productos alimentarios y la mejora de los existentes, sistemas y técnicas de producción animal, cultivos genéticamente modificados o sistemas para la detección y diagnóstico de enfermedades y plagas.

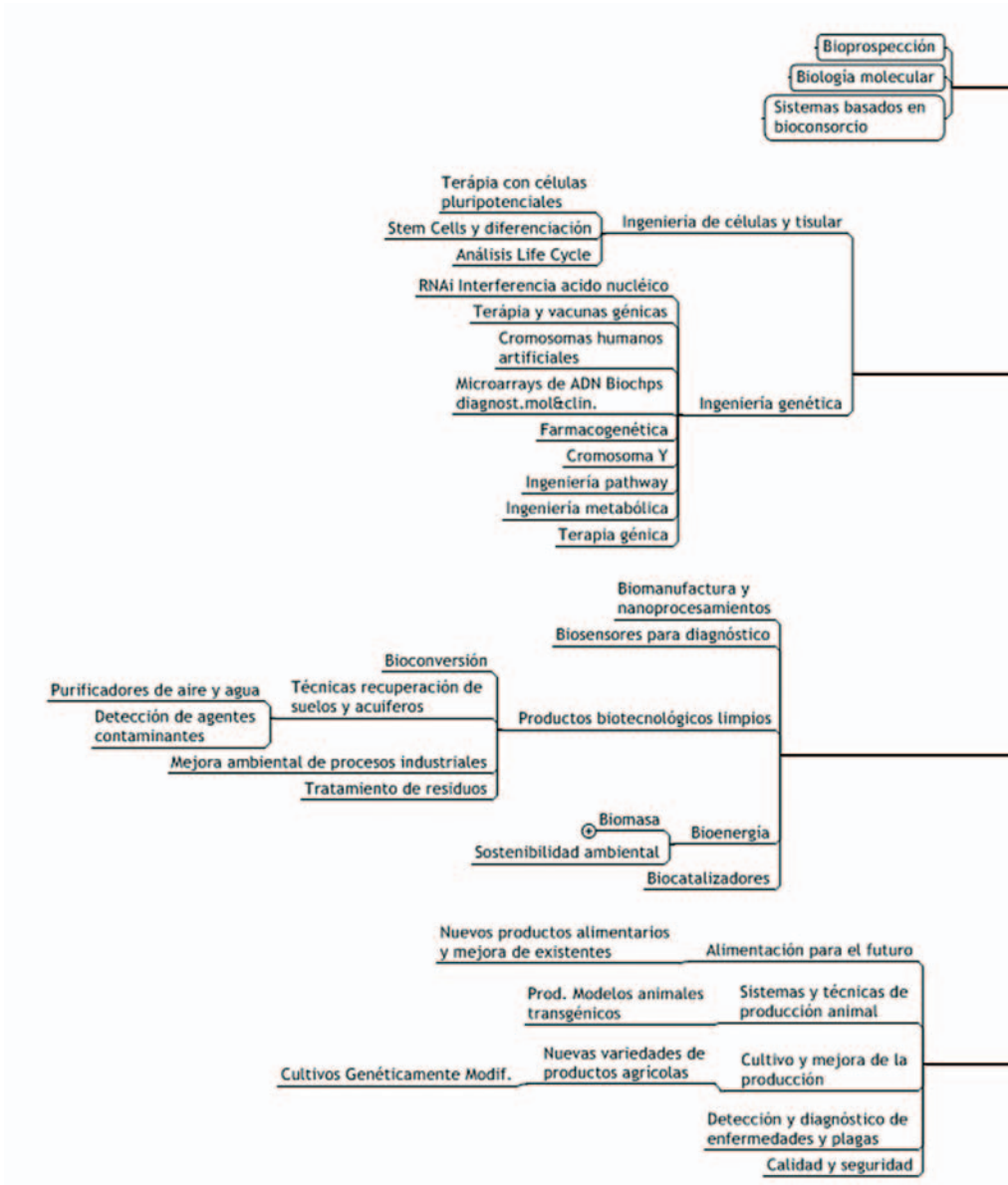
En relación con la industria, la biotecnología se solapa aquí claramente con áreas propias de la nanotecnología a través del desarrollo de biomanufactura y nanoprocesos o de biosensores para diagnóstico. Pero la biotecnología industrial tiene también un amplio potencial en el desarrollo de productos biotecnológicos limpios para la purificación de agua o la detección de agentes contaminantes. Sin olvidar tampoco su potencial para la bioenergía o para el desarrollo de biocatalizadores.

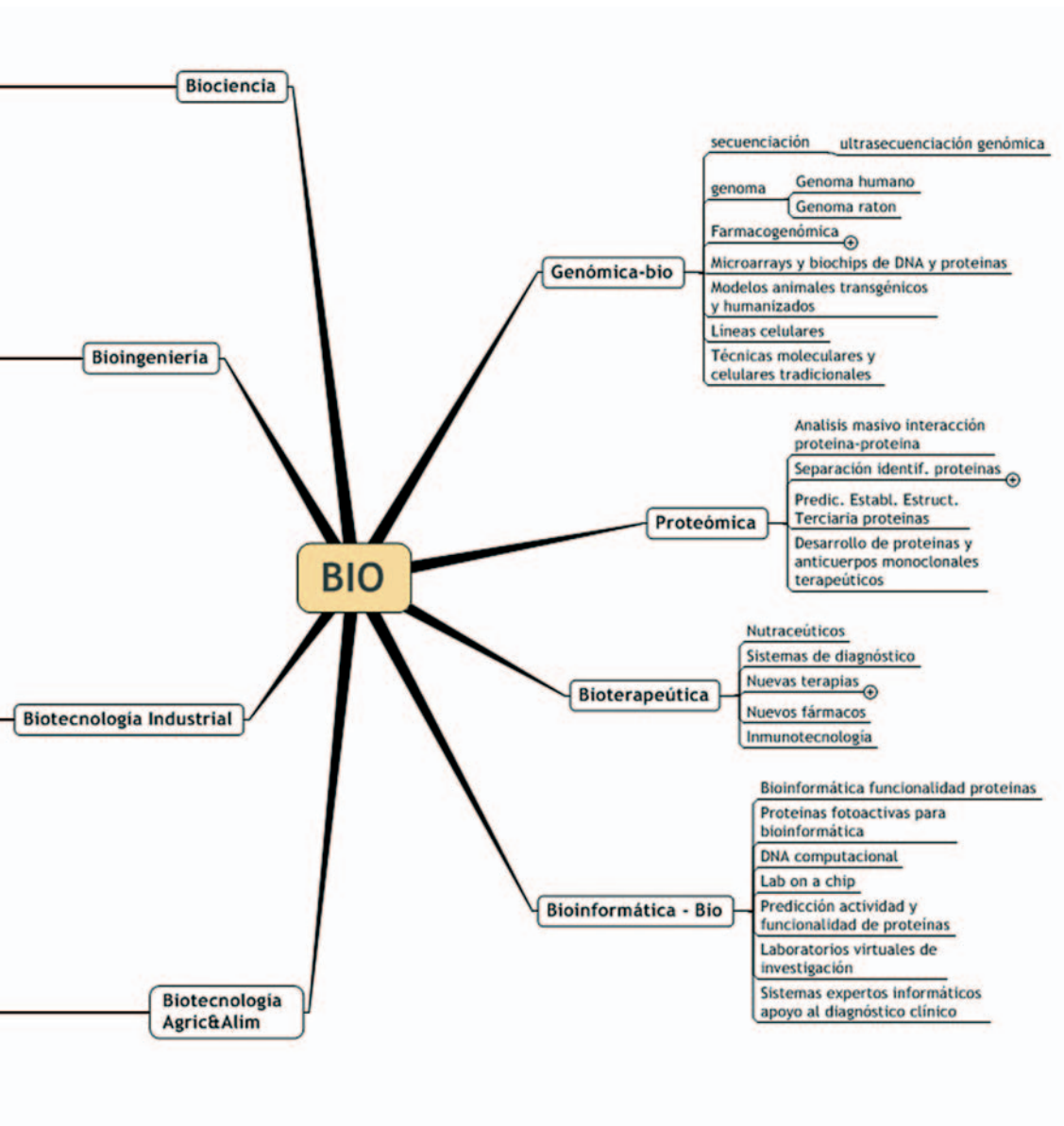
Como antes se señaló, la bioinformática tiene el potencial de introducir paulatinamente los enfoques “bottom-up” en la Info (TICs). Las proteínas fotoactivas para la bioinformática, el DNA computacional o el “lab on a chip”; las aplicaciones para predicción de actividad y funcionalidad de proteínas o los sistemas expertos informáticos para diagnósticos clínicos son solo algunos ejemplos de los avances que van a acabar orientando a la Info (TICs) hacia aquellos enfoques.

De nuevo la medicina y la salud concentran importantes campos del entramado Bio, tanto a nivel de bioingeniería, de genómica, de proteómica como de bioterapéutica. A los desarrollos en la ingeniería celular y tisular hay que añadir el amplio campo de la ingeniería genética<sup>7</sup>, la genómica<sup>8</sup> y la proteómica<sup>9</sup>. Los nuevos fármacos y nuevas terapias, la inmunotecnología o los nutraceúticos con su capacidad de integrar terapias a través de innovadoras formas nutricionales terapéuticas son solo algunos ejemplos del potencial de la bioterapéutica en el subsistema biotecnológico de la NBIC.

7. Terapias y vacunas génicas, cromosomas humanos artificiales, microarrays de ADN, biochips para diagnóstico molecular y clínico, farmacogenética, ingeniería metabólica, etc.
8. Genoma humano, genoma ratón, modelos animales transgénicos humanizados, secuenciación y ultrasecuenciación genómica, etc.
9. Procesos de separación e identificación de proteínas o el desarrollo de proteínas y anticuerpos monoclonales terapéuticos, entre otros.

DIAGRAMA 2





## II.2.6 El entramado Cogno

El subsistema Cogno y las ciencias cognitivas representan una de las empresas científicas más ambiciosas, pero también menos conocidas, paradójicamente, del siglo XXI. A los desarrollos ya evidentes de las neurociencias, la robótica, la lingüística ligada al tratamiento integrado de la lógica del lenguaje y la computación, el desarrollo de la psicología, la psicopatología y la psiquiatría, debemos añadir las ciencias cognitivas. El alcance de dichas ciencias está aún a debate, e incluso el concepto mismo es interpretado de formas muy variadas<sup>10</sup>.

La complejidad a la hora de hacer una taxonomía válida de la Cogno es bastante parecida a la que encontramos en otras áreas NBIC, con la dificultad añadida de que en este caso el subsistema NBIC Cogno se caracteriza por estar, aún más, en continua mutación. Se han desarrollado algunas definiciones y taxonomías<sup>11</sup>, pero quizá una de las más actuales y que se adapta mejor a su papel en el marco de la convergencia NBIC sea la que adelanta Daniel Andler en sus recientes trabajos, tal y como se muestra en el siguiente cuadro:

COGNO
<b>Posibles "clusters" temáticos</b>
1. Percepción y acción
2. Memoria, atención y conciencia
3. Conocimiento tácito (sentido común, física naif, matemática naif, biología naif)
4. Categorización, lexicon, ontología
5. Aprendizaje
6. Lenguaje y representación
7. Elección, racionalidad y decisión
8. Cultura y conocimiento social

Fuente: Andler y Dumitru (2005)

Las áreas mencionadas son abordadas por múltiples disciplinas que cruzan constantemente las fronteras entre las ciencias naturales y sociales. La lógica a la hora de hacer dicha clasificación responde a una lógica intuitiva que parte del sujeto individual, como sistema cognitivo, y termina con la interacción entre el sujeto y el medio y con los efectos de esa dinámica reconceptualizando, a su vez, al propio sistema cognitivo.

A partir de las anteriores consideraciones, se ha elaborado un entramado del subsistema Cogno, en el Diagrama 3, iniciando

desde la neurociencia cognitiva y que incluye la neurociencia de sistemas, la fisiología de procesos cognitivos, la educación<sup>12</sup> y las neurociencias para interfaces multimodales.

Las neurociencias constituyen la base sobre la que se desarrolla la neuroingeniería con aplicaciones en tres áreas: percepción, motora e ingeniería genética para desarrollo cognitivo.

10. Ciencias cognitivas o del conocimiento. Pero también se debe hablar de estudios cognitivos, de neuroinformática, de cibernética biológica y de lógica, lenguaje y computación.

11. La Enciclopedia de las Ciencias Cognitivas del MIT clasifica las ciencias cognitivas y del cerebro en seis áreas: i) inteligencia computacional; ii) cultura, cogitación y evolución; iii) lingüística y lenguaje; iv) neurociencia; v) filosofía; y vi) psicología.

12. En este ámbito es importante señalar el papel de las ciencias y estudios cognitivos, memoria, desarrollo y disfunciones, adquisición y regulación de competencia social, las matemáticas y sus aplicaciones a la neurociencia cognitiva y el desarrollo del conocimiento para el desarrollo de actividades artísticas y de la percepción.

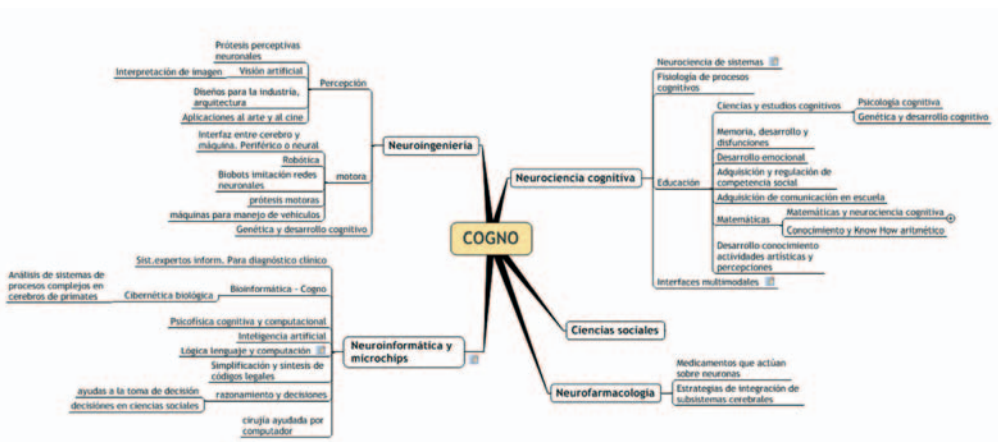


La neuroingeniería se centra en las aplicaciones para el ser humano y la mejora de sus aptitudes perceptivas<sup>15</sup>, motoras<sup>14</sup> así como del interfaz cerebro-máquina periférico o neuronal. La farmacología, con los medicamentos que actúan sobre neuronas y las estrategias de integración de subsistemas cerebrales completa una parte de las aplicaciones. De nuevo se observa el amplio solapamiento que prevalece en la Cogno con los demás subsistemas.

Abordar la neuroinformática es adentrarse en el enorme potencial para un futuro que transforme la Info (TICs), de su naturaleza histórica “top-down” a su futura naturaleza “bottom-up”. Dicha transformación, a la que este informe ya se ha referido, abre opciones para un proceso innovador con capacidad incluso para devolver a la Info (TICs) el papel de motor de la productividad que ha venido desarrollando mientras tejía el auge de la Nueva Economía. La SSC le abre ahora la puerta a la Info (TICs) para volver a jugar ese papel, de la mano esta vez de la nano-, la bio- y la neuroinformática<sup>15</sup>. Sin los necesarios esfuerzos hacia la convergencia de tecnologías NBIC ese proceso se desarrollaría mucho más lentamente, o incluso podría no producirse.

Finalmente, el desarrollo de la Cogno, con sus aplicaciones para el ser humano, encuentra en la sociedad y los comportamientos sociales, un área importante para investigación y aplicaciones. Si bien es cierto que el protagonismo en la Cogno lo ha tenido siempre el individuo, y no tanto el lugar que éste ocupa en la historia y la sociedad, la visión, y en particular la europea, tendería a integrar cada vez más un enfoque amplio que abarca la antropología, la economía o la sociología.

DIAGRAMA 3



15. Prótesis perceptivas neuronales, visión artificial, diseños para la industria y la arquitectura, etc.
14. Robótica, biobots e imitación de redes neuronales o prótesis motoras.
15. Con el desarrollo creciente de sistemas expertos para diagnóstico clínico, cirugía ayudada por ordenador, cibernetica biológica, inteligencia artificial, simplificación y síntesis de códigos legales, psicofísica cognitiva y computacional, o desarrollos para la ayuda al razonamiento y la toma de decisiones.



## II.3. Oferta y demanda científico-tecnológica y caminos críticos NBIC

Como ya se adelantó en el Capítulo I, el presente informe da prioridad al enfoque de la prospectiva exploratoria por ser el más adaptado a la hora de estudiar el campo de los posibles en materia tecnológica. Los entramados o “racimos” analizados de la convergencia NBIC representan, para las sociedades industriales avanzadas, la oferta potencial de tecnologías que se apoya, como hemos visto, en desarrollos autónomos de la ciencia (supply pushed) en el escenario de la SSC.

Se precisa comprender mejor cómo se produce la aceleración de esa nueva “oferta” científico-tecnológica, y cómo en determinados sectores críticos de la economía se incentiva una demanda apropiada que responde a necesidades valoradas por la futura sociedad. El examen de esa demanda se traduce en la aparición de nuevas interacciones dentro de cada entramado científico-tecnológico analizado.

El objetivo aquí es extraer unas primeras conclusiones acerca de las interacciones que se dan, tanto entre componentes de un mismo entramado (oferta tecnológica), como entre éstos y los sectores críticos mencionados (demanda tecnológica). Así, dentro de cada entramado coexisten componentes que interactúan y que influyen, y son a su vez influenciados por esos sectores críticos de la economía. Analizar la estructura de los subsistemas, es decir el tejido relacional entre sus elementos, es importante para comprender su evolución, ya que ésta debería conservar una cierta permanencia.

Con el fin de evidenciar la naturaleza de dichas interacciones, se ha considerado apropiado realizar un ejercicio de análisis estructural, y ello con el fin de dotarse de una representación lo más completa posible del subsistema estudiado, así como de reducir la complejidad del subsistema a las variables esenciales. Dicho ejercicio se ha realizado para cada uno de los tres subsistemas NBIC, integrando en cada uno de ellos, además de los sectores críticos y pertinentes de demanda, la Info (TICs) como variable adicional.

### Análisis Estructural NBIC

Nano: 63 variables (incluidos 16 sectores críticos)

Bio: 49 variables (incluidos 10 sectores críticos)

Cogno: 40 variables (incluidos 10 sectores críticos)

**Total NBIC: 152 variables**

#### Sectores económicos críticos frente a NBIC considerados: 22

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| · Agricultura y ganadería                 | · Plásticos y polímeros |
| · Agua                                    | · Químico               |
| · Alimentación                            | · Medicina y Salud      |
| · Arte, cine y ocio                       | · Medioambiente         |
| · Diseño industrial, arquitectónico, etc. | · Metalurgia            |
| · Educación                               | · Otras industrias      |
| · Electrónica                             | · Saneamiento           |
| · Energía                                 | · Socioeconómico        |
| · Energías renovables                     | · Textil                |
| · Farmacéutico                            | · TICs                  |
| · Luz, óptica e imagen                    | · Transporte            |

A partir de un examen del estado del arte, examinando los principales estudios, publicaciones y fuentes NBIC, se dieron las correspondientes valoraciones a cada par de variables comparadas en cada uno de los subsistemas, lo que representa cerca de 8.000 valoraciones del grado de influencia entre cada par de variables para el total de los tres subsistemas de NBIC.

Los resultados del correspondiente análisis estructural permiten clasificar a las variables de forma gráfica en función de la naturaleza

que adquieren como: (1) variables “explicativas”, de alta influencia y baja dependencia frente al resto de las variables del subsistema; (2) variables “enlace” altamente influyentes a la par que dependientes, y que en cierto modo constituyen motores de “feed back” para el desarrollo del conjunto de interacciones dentro del subsistema; (3) variables “resultado”, variables altamente dependientes de la influencia de las demás y hacia las que abocan los procesos científico-tecnológicos en cada área específica NBIC; (4) variables “del pelotón” de influencia o dependencia poco significativa; y finalmente (5) variables “excluidas”, que tras el ejercicio parecen sin influencia ni dependencia alguna dentro del propio subsistema<sup>16</sup>. En el Anexo I (Tablas A.1.1, A.1.2, A.1.3, A.1.4, A.1.5 y A.1.6) se presentan los gráficos sobre la distribución de las diferentes variables para Nano, Bio y Cogno. La posición de cada variable en los mapas refleja el “cluster” al que pertenece, mientras que la pequeña traslación que experimenta cada una en el gráfico muestra la importancia de los efectos indirectos respecto a las valoraciones iniciales de efectos directos. Dichas traslaciones indican la tendencia de esa determinada variable hacia una mayor influencia o dependencia frente a las demás como resultado de los efectos indirectos inducidos por las interacciones sucesivas entre variables del subsistema.

Dentro de la complejidad que implica cada subsistema, el análisis estructural llevado a cabo permite, con todas las limitaciones del caso, llegar a unas primeras conclusiones sobre el papel que pueden jugar determinadas ciencias, tecnologías, sectores económicos y materiales, procesos y productos en el desarrollo del entramado científico-tecnológico a que nos referimos. Se trata de vectores de influencia, enlace o resultado, que no sólo indican cuales son las variables más relevantes, sino que también señalan cual es su función respecto al propio subsistema de que se trate.

De esa forma, si su función o estatus es de influencia (explicativas o de enlace) nos encontramos ante ciencias, tecnologías o sectores de la economía sobre las que una actuación, o la ausencia de ésta, tendrá siempre efectos importantes sobre el comportamiento o la evolución de esa área o subsistema. Si por el contrario su estatus es de resultado, entonces estamos ante ciencias, tecnologías o sectores que se van a ver afectados por la acción o inacción de aquellas que tienen estatus de influencia. La selección de los vectores más significativos y la presentación gráfica de la dirección de éstos revela lo que podemos denominar “caminos críticos” o vías predominantes sobre las que actuar a la hora de abordar futuras estrategias hacia la convergencia de tecnologías NBIC.

### II.3.1 “Nano-caminos críticos”

#### a) Variables “impulsoras”

En el subsistema Nano, y tal y como se presenta en el Diagrama 4, más abajo, de entre las 63 variables analizadas, 13 se destacan por ser las variables clave impulsoras por las que transita el camino crítico hacia el desarrollo de la nanotecnología. De ellas depende el arranque y

16. Pudiendo en algunos casos deberse esto a dificultades en la valoración de los impactos directos respectivos, o realmente a su neutralidad explícita a través de este primer ejercicio de análisis estructural

mantenimiento de un empuje que parece estar sobretodo motivado por dos factores: en primer lugar el desarrollo de las herramientas para nanotecnologías tales como la microscopía electrónica, los laboratorios de efecto túnel, manipuladores Zybot o Rotapod, metrología o herramientas de láser y sistemas holográficos; en segundo lugar, por el desarrollo de las nanociencias, y particularmente la ciencia de materiales y la física teórica, molecular, de superficies, y de la materia condensada. Aquí, parecería prevalecer el factor de oferta científica para explicar el desarrollo de las nanociencias y de las necesarias herramientas para el incipiente desarrollo de la nanotecnología.

Por otro lado, cuatro variables juegan el papel de enlace. Constituyen caminos críticos bidireccionales desde y hacia la Nano. Tres son sectores y uno tecnología. Es importante recalcar que de partida (plan de influencias directas), el sector de las TICs es más bien “resultado”, “receptor” o beneficiario de los desarrollos surgidos y por acontecer de la Nano. Sin embargo, la importante traslación hacia el sector “enlace” (2)<sup>17</sup>, tras los efectos indirectos, pone de manifiesto que, como ya se señaló más arriba, y entre las cuatro NBIC, es solo en el caso de la Nano en el que destaca notablemente la Info (TICs) por impulsar al subsistema y ser; a su vez, impulsado por él. Lo mismo sucede en el caso del sector de la electrónica, lo que explicaría una bidireccionalidad donde se combina la innovación y eficiencia de la miniaturización (efecto top-down) propia de esta última y de las TICs, con los enfoques y procesos “bottom-up” propios de la Nano y que retroalimentan de forma continua a ambos. Sin duda, nueva oferta científica y nueva demanda tecnológica se combinan aquí.

La Nano y sus avances científico-tecnológicos se combinan también de forma importante y bidireccional con “otros sectores” de la economía, lo que revela un amplio campo de aplicación, hacia esos sectores, de estas tecnologías y sus productos. La manufactura “bottom up” es la única tecnología que destaca con características de impacto bidireccional con la Nano.

## **b) Variables “receptoras”**

Entre las 63 variables, 7 son de naturaleza “receptora”. Constituyen las desembocaduras lógicas del desarrollo del subsistema Nano. Tres sectores económicos lideran esa capacidad de absorción del proceso innovador y tecnológico a escala nanométrica: el sector de medicina y salud, el amplio sector farmacéutico y la incipiente nanotecnología farmacéutica. Esto significa, tal y como puede observarse en el Diagrama 4 y la Tabla A.1.1 en Anexo, que el fomento al desarrollo de la nanotecnología convergente tiene efectos prioritarios sobre esos sectores.

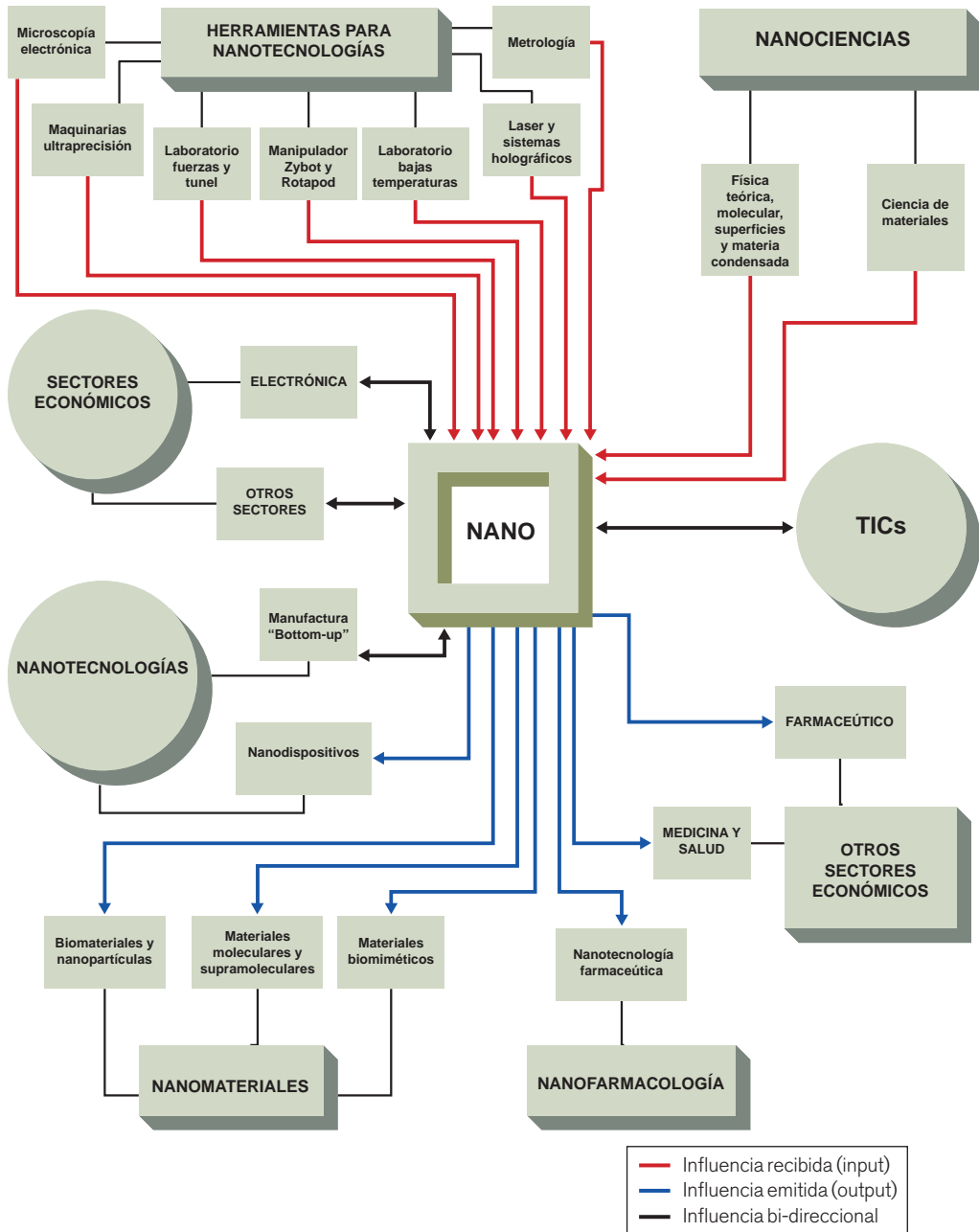
Hasta qué punto esa capacidad receptora está guiada por un efecto de demanda de la industria médica y farmacéutica, o por la propia dinámica de oferta del subsistema Nano es difícil de precisar con los datos a disposición. Sin embargo, la ausencia de bidireccionalidad es reveladora de que no debemos contar por el momento con que una potencial expansión autónoma del sector de medicina y salud o farmacéutico retroalimente, a su vez, el desarrollo de la nanotecnología, aunque no podemos descontar que esto ocurra a medida que se desarrolle el área nanotecnológica en el futuro.

17. Ver Tabla A11 en el Anexo.

DIAGRAMA 4

# NANO CAMINOS CRÍTICOS

## Principales variables explicativas, de enlace y de resultado



Los nanodispositivos de la nanotecnología junto con los nanomateriales (biomateriales y nanopartículas, materiales moleculares y supramoleculares, así como materiales biomiméticos) completan el resto de variables receptoras.

### II.3.2 “Bio-caminos críticos”

#### a) Variables “impulsoras”

Tal y como se describe en el Diagrama 5, el impulso biotecnológico, clave en la convergencia NBIC, depende de 14 de las cerca de 50 variables cuyo análisis estructural detallado se incluye en Tabla A.1.3. del Anexo. En el caso de la biotecnología, existe una mayor variedad de áreas y sectores cuya expansión unidireccional impulsa la propia expansión del subsistema Bio. Entre ellas cabe destacar el papel de muchas líneas de la Bioinformática y en general del sector de las TICs (cuyo impacto crece aún más al observarse los efectos indirectos). Además, el desarrollo de la biotecnología parece depender mucho de los desarrollos e investigación en biología molecular (entre las biociencias). Dos áreas Biotecnológicas son especialmente impulsoras del conjunto Bio: el desarrollo de avances en el Genoma, y las biomanufacturas y nanoprocesamientos. En cuanto a sectores de la economía, el impulso unidireccional lo produce la propia expansión del sector químico.

La ingeniería genética, la farmacogenómica, el sector farmacéutico y el de medicina y salud tienen una interacción bidireccional con todo el subsistema Bio. En otras palabras, constituyen sus motores de enlace, y a diferencia de lo observado en el área Nano, el crecimiento de estas áreas impulsa y se retroalimenta a su vez del propio subsistema biotecnológico.

La expansión, fomentada o no, de la oferta y de la demanda tecnológica más arriba reseñada generaría los mayores beneficios en términos de la expansión global de la biotecnología, a la par que autoalimentaría el proceso.

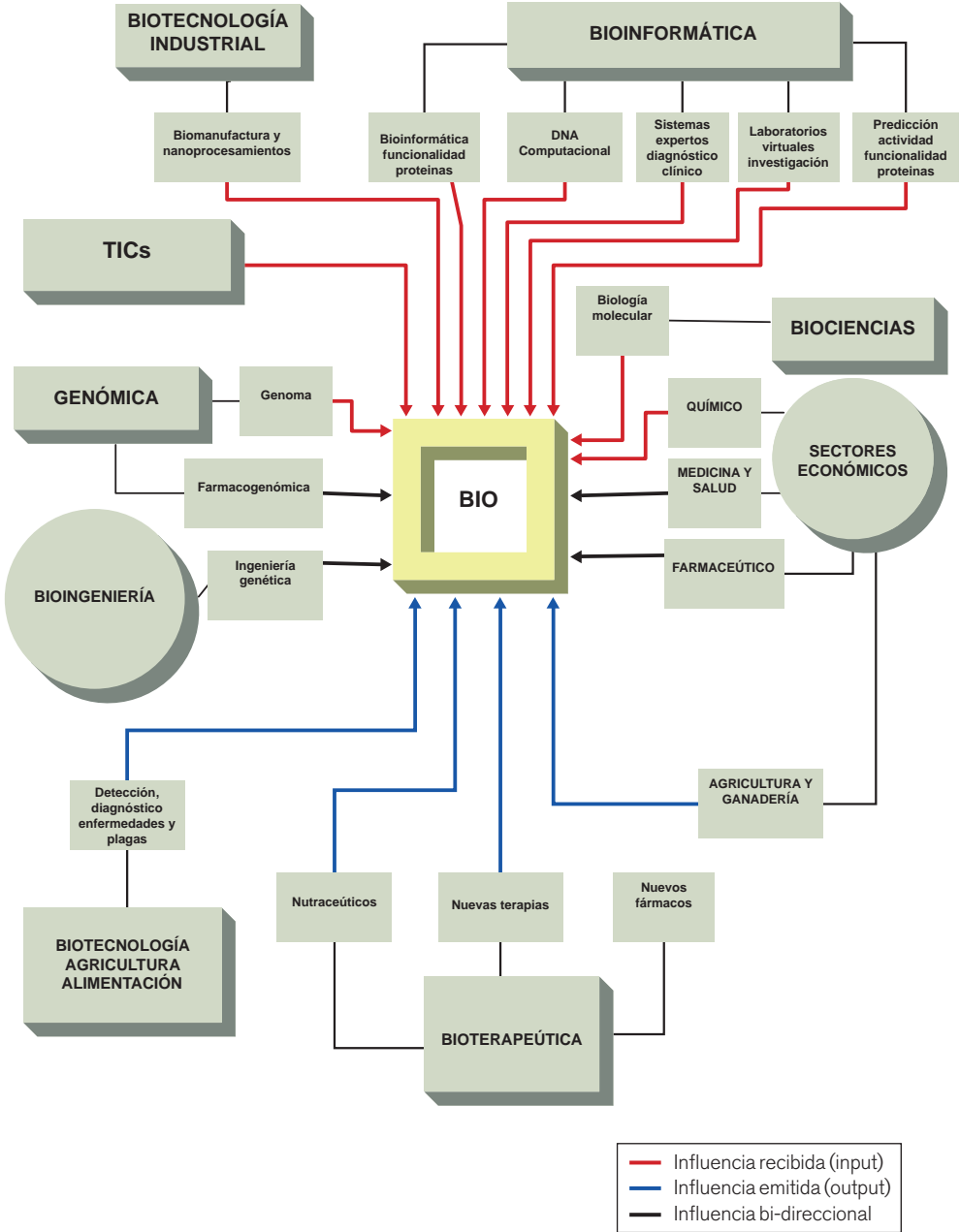
#### b) Variables “receptoras”

La nueva demanda tecnológica, generada desde 4 variables receptoras, de un total de cerca de 50 del subsistema Bio, tiene la oportunidad de desarrollar dicho subsistema desde dos frentes. El primero desde las áreas de la biotecnología para agricultura y alimentación, o del propio sector de la agricultura y ganadería, y el segundo, desde el sector bioterapéutico, ya sea por la demanda de nutraceúticos, de nuevas terapias o de nuevos fármacos.

DIAGRAMA 5

# BIO CAMINOS CRÍTICOS

Principales variables explicativas, de enlace y de resultado



### II.3.3 “Cogno-caminos críticos”

#### a) Variables “impulsoras”

Finalmente, el Diagrama 6 presenta los caminos críticos que se identifican como resultado del análisis estructural realizado. De nuevo el desarrollo de determinadas especialidades de la neuroinformática, de la Info (TICs), y de las neurociencias impulsan, de manera unidireccional, el desarrollo de las ciencias cognitivas y de sus aplicaciones tecnológicas. La nueva oferta de la ciencia, a través de las 9 variables identificadas entre las 40, tiene en este subsistema Cogno una expresión precisa.

Dos variables enlace, la inteligencia artificial y el sector Educación son, para este subsistema, los motores bidireccionales que se autoalimentan de, y alimentan a su vez al subsistema Cogno.

Estrategias que concentren su actuación en las variables impulsoras descritas deberían propiciar la expansión de la Cogno entre las demás tecnologías convergentes NBIC.

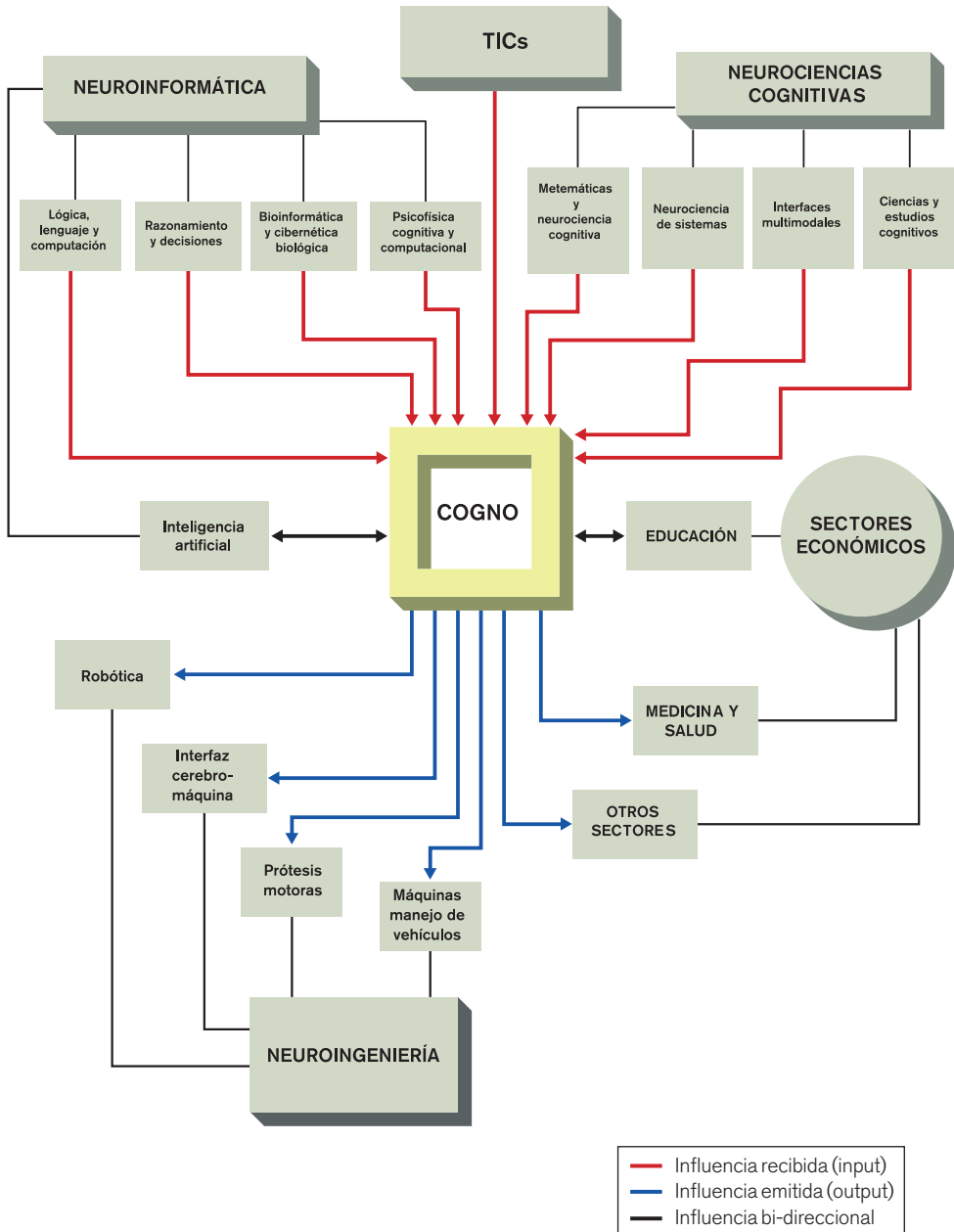
#### c) Variables “receptoras”

La Cogno tiene importantes impactos sobre la neuroingeniería que se beneficia de su desarrollo. Áreas como la robótica, interfaz cerebro-máquina, prótesis motoras o máquinas para el manejo de vehículos son especializaciones de neuroingeniería que pueden ser cubiertas por la oferta científico-tecnológica, pues son las más propicias para desarrollarse como consecuencia de toda expansión futura en la Cogno. Finalmente, el amplio sector de medicina y salud, así como otros sectores económicos, son sectores receptores de la propia expansión del subsistema.

DIAGRAMA 6

## COGNO CAMINOS CRÍTICOS

Principales variables explicativas, de enlace y de resultado





### II.3.4 Caminos críticos NBIC

A partir de los resultados anteriores se verifica una de las características de la convergencia NBIC: el solapamiento de áreas comunes a las cuatro tecnologías. Independientemente de que el efecto sea de oferta científica (supply-pushed), o de demanda tecnológica (demand-driven), al combinar los resultados de cada subsistema en un solo sistema final se perciben más claramente, a través de los vectores impulsores, de enlace, o receptores, tal y como lo muestra el Diagrama 7, las conclusiones respecto a la interacción de cada subsistema con los sectores económicos que les son comunes.

#### a) Info (TICs)

Ya se ha comentado anteriormente la diferente naturaleza de las interacciones más fuertes entre Info (TICs) y los tres subsistemas. Las tecnologías de la información y de las telecomunicaciones, a través de procesos de miniaturización y elaboración de software con capacidad para el manejo de áreas novedosas y complejas, impulsan (TICs → Bio) hoy en día a través, entre otros, de la bioinformática, de métodos para la predicción de la estructura proteínica o aplicaciones a la biología sintética. Frente a la Cogno (TICs → Cogno), la influencia del desarrollo de las TICs en la neuroinformática, en lo que respecta a la ampliación de las capacidades del cerebro, o el desarrollo de redes y de mecanismos para el filtrado de conocimiento que proviene de Internet, son solo algunas de las aplicaciones más novedosas a través de las cuales se confirma ese impacto unidireccional. En el caso particular de la inteligencia artificial, ésta genera efectos de refuerzo mutuo con la Cogno. La Info (TICs) desarrolla su motor bidireccional con el subsistema Nano (TICS → Nano). Simulaciones de dinámica molecular o modelización en nanofísica ilustran la dirección (TICs → Nano), mientras que, por ejemplo, la elaboración de transistores monomoleculares o de nanocableado para circuitos integrados lo hacen con la dirección (Nano → TICs).

#### b) Medicina y salud

El sector de medicina y salud representa el segundo nodo más importante entre los caminos críticos integrados NBIC. Toda estrategia que persiga la expansión de la oferta Nano o Cogno conlleva, por su característica impulsora frente al sector de medicina y salud, efectos positivos sobre dicho sector. En el caso de la Bio, y dada la interacción bidireccional identificada frente a aquel, éste último ejerce de motor de autoreforzamiento entre ambos. Puede afirmarse que Nano, Bio y Cogno interactúan a través de este sector en muchas de sus influencias recíprocas. Es por ello que constatamos como la interacción (Nano → Bio) se produce a través, entre otros, del desarrollo de nanobiosensores o de nanopartículas para distribución inteligente de medicamentos. De igual forma, en la relación (Cogno → Bio) prevalecen, por ejemplo, la generación automática de algoritmos para bio-aplicaciones. En el caso de la interacción (Bio → Cogno), ésta se desarrolla a través del mismo sector, pero también a través de la interacción entre bioinformática, neuroinformática y TICs. Es por ello que encontramos en esa interacción innovaciones como la computación evolutiva, los medicamentos para el reforzamiento cognitivo, o los biorobots.

#### c) Sector Farmacéutico

Las interacciones más fuertes con este sector se producen de manera unidireccional (Nano → Farmacéutico), o bidireccional (Farmacéutico → Bio). La expansión del sector far-

macéutico se autoreforza con la del biotecnológico y dicho sector es, a su vez, impulsado por los progresos que se realicen en las diversas áreas de la Nano.

#### **d) Educación e inteligencia artificial**

El desarrollo de la Cogno se refuerza con el progreso del sector educativo y a la inversa. Idéntico ocurre entre la Cogno y la inteligencia artificial que ya se comentó más arriba. Es por ello que la interacción (Nano → Cogno) tiene lugar sobretodo a través de la interacción (Nano → TICs → Cogno) y esto queda ilustrado por, entre otros, la producción de nanoelectrodos, nanocomputadoras, o nanosensores cerebrales en tiempo real.

#### **e) Otros sectores**

Determinados sectores económicos tales como el textil, el de plásticos y polímeros, la industria de óptica, luz e imagen, etc., juegan un papel de enlace y refuerzo mutuo con la Nano (Nano → Otros sectores), mientras que son beneficiados por todo efecto expansivo que provenga de la interacción Cogno → Otros sectores. Esto se traduce en una interacción (Cogno → Nano) a través de las TICs o de “otros sectores”, y esto incluye, por ejemplo, la optimización de nanodispositivos.

#### **f) Agricultura & ganadería y sector químico**

Los sectores agrícola y químico, respectivamente, están muy ligados a la Bio dentro del propio sistema NBIC. El sector agrícola, en su calidad de variable “receptora” se beneficia casi automáticamente de toda expansión en el área Bio (biotecnologías para la agricultura y la alimentación). Por otro lado, estrategias futuras de refuerzo de la NBIC, reforzando la Bio, podrían diseñarse a través del sector químico, sector “impulsor” (unidireccional) frente a la Bio.

\* \* \*

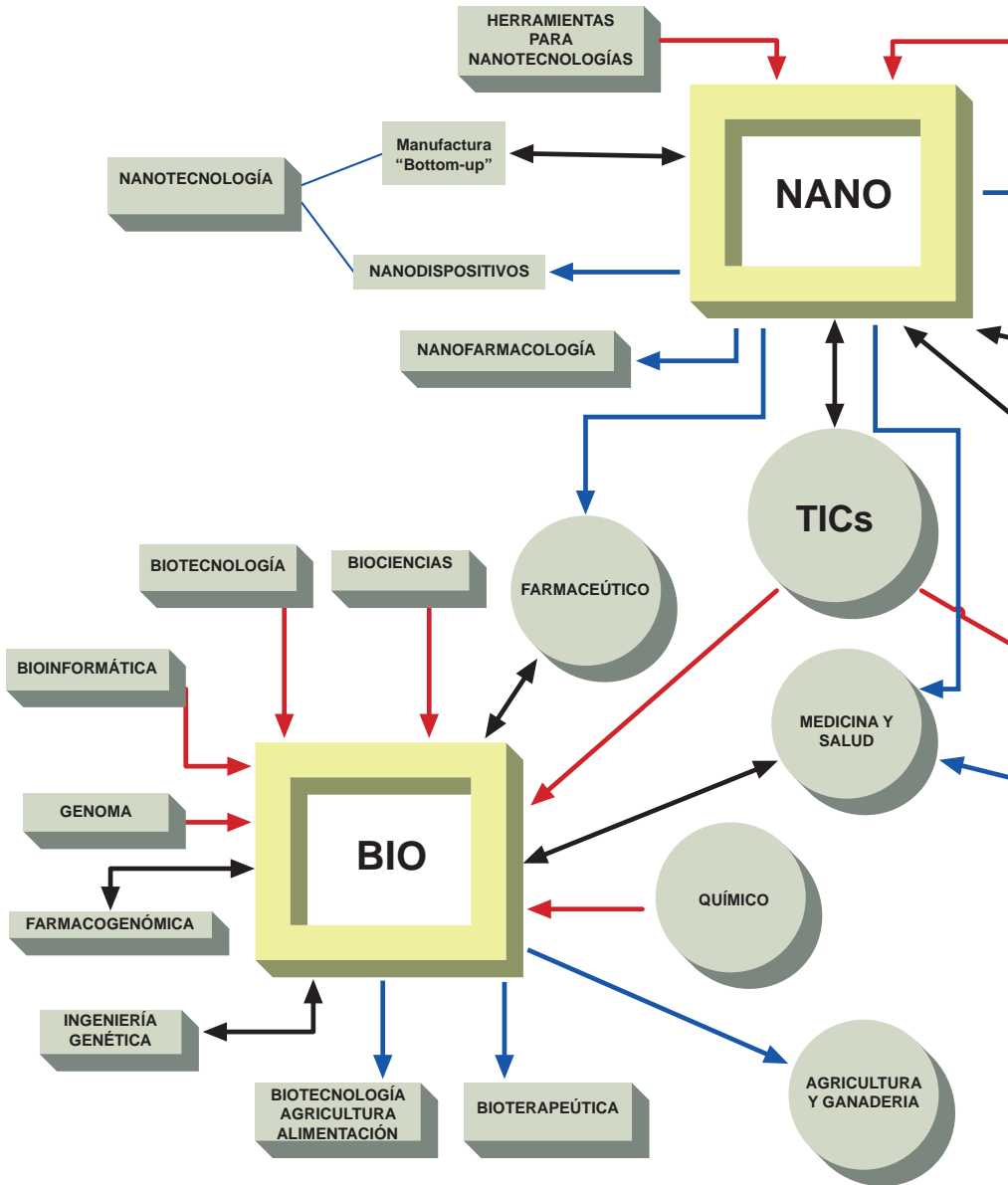
En definitiva, el análisis de los caminos críticos NBIC debería llevarnos a una actitud un poco más prospectiva a la hora de elaborar estrategias que tengan como objetivo el desarrollo de las tecnologías convergentes NBIC.

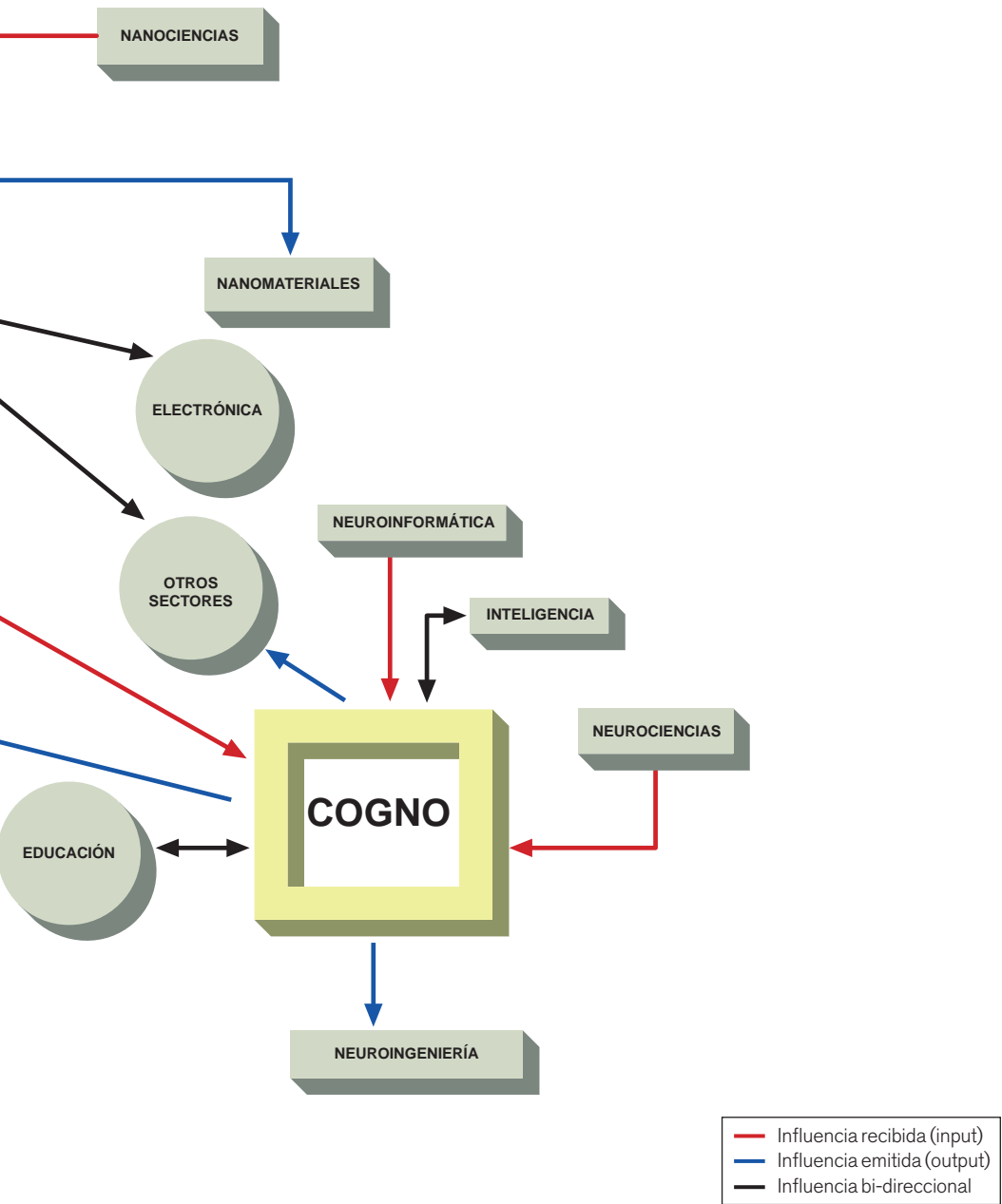
Aparte del papel de oferta científico-tecnológica que se ha observado dentro de cada subsistema, la Info (TICs) y los sectores de medicina y salud, así como el farmacéutico, son sectores clave a la hora de hacer planes de expansión de las NBIC, y ello por su importante papel de enlace entre las tres tecnologías Nano, Bio y Cogno.

Con el fin de examinar los caminos críticos de una economía desarrollada hacia la NBIC, sería aconsejable la puesta en práctica de las conclusiones aquí apuntadas en lo que respecta a las variables de “impacto”, y las “receptoras”; respectivamente, a través de una verificación del estado y nivel de progreso de las correspondientes variables en esa economía en particular. Aunque un ejercicio como ése es de gran interés, su realización exhaustiva supera el marco del presente informe. Sin embargo, y en el siguiente capítulo, se adelantan algunas de las que podrían ser las guías de ese enfoque en España y se exploran algunos resultados preliminares.

DIAGRAMA 7

# NBIC CAMINOS CRÍTICOS







## Capítulo III

# Hacia la integración en el proceso NBIC: Los recursos disponibles en España y Perspectivas

España, país que se sitúa en el grupo de cabeza en términos de desarrollo económico a nivel mundial, se enfrenta ahora, en el marco de las NBICs, al reto y a la ocasión singular que le plantea la Sociedad Sostenible del Conocimiento (SSC): generar oportunidades en este ámbito para la actividad empresarial.

Ninguna de las reflexiones del capítulo anterior tiene validez si las estrategias y las acciones que se emprendan, para hacer que las variables “impulsoras” y “receptoras” jueguen plenamente su papel, no integran la dimensión empresarial como culminación lógica de los grandes avances que puedan producirse en la cadena científico-tecnológica española NBIC.

En la SSC, y debido a las características señaladas en el presente informe, existe potencial para mayor crecimiento y productividad con menores requerimientos en términos de acumulación de capital y trabajo instrumental, aunque si más en términos de ingeniería del conocimiento. Parecería entonces más fácil, para un país como España, “coger el tren en marcha” ahora, con el alto nivel de conocimiento existente en estas áreas, que lo que reto semejante hubiese significado de haberse planteado entre la Revolución Industrial y la aparición de la Nueva Economía.

Los síntomas del “enfermo” no parecen cambiar, y se continúa rememorando, siempre que la ocasión se presenta, el creciente foso que caracteriza al proceso de innovación español, entre el buen nivel de las publicaciones científicas (ciencia e investigación) en estas áreas, y el bajo nivel de patentes que realmente acaban dando sus frutos. La falta de capital riesgo especializado, así como una más que deficiente comunicación social sobre la ciencia, son com-

ponentes casi siempre permanentes del “cuadro clínico”. Sin embargo, de poco nos servirán explicaciones válidas a este paradigma si no se encuentran paliativos eficaces al respecto. Para ello, sería quizá mucho más fructífero analizar con más atención ideas y alternativas novedosas sobre el nexo ciencia-tecnología-comercialización, en el marco NBIC, y el potencial para reforzarlas, que prolongar indefinidamente la indagación estéril de lo que podrían acabar siendo simplemente, y ante el potencial que representa la NBIC, falsos síntomas de un “enfermo” quizá un poco “imaginario”.

### **III.1. Recursos disponibles en España**

El presente informe no pretende duplicar otros estudios sobre los recursos disponibles en España en los diversos campos NBIC. Es importante subrayar que muy recientemente, un cierto número de informes novedosos, y en particular sobre la Nano<sup>18</sup>, la Bio<sup>19</sup> y al Info<sup>20</sup> respectivamente, han salido a la luz e ilustran ampliamente la situación de estos sectores en España. En el caso de la Cogno la situación es muy distinta ya que no existen balances a nivel nacional para dicho subsistema como tal, y sólo es posible hacer seguimiento de determinados avances científico-tecnológicos, y en menor medida empresariales, dentro de disciplinas específicas que lo configuran tales como la neuroingeniería, la inteligencia artificial, las neurociencias o la neuroinformática. En lo que respecta a la “Info”, se hacen extensivas aquí las reflexiones apuntadas a lo largo de este informe respecto a la decisión de no abordarlo de forma aislada, sino haciendo balance de sus recursos solo en lo que respecta a sus interacciones con las áreas Nano, Bio y Cogno respectivamente.

Por ello, lo que aquí se pretende es describir de forma breve a los principales actores, instituciones públicas, privadas y empresas, que concentran el quehacer NBIC en España para, en la segunda parte del presente capítulo, examinar los “puntos fuertes” a la luz de los distintos informes, y contrastar después esa información con la investigación sobre los caminos críticos NBIC del capítulo II. El objetivo es poder explorar, a la luz de dichos caminos críticos, las actividades más prometedoras para el desarrollo de la NBIC y de su posible contribución a la economía española.

#### **III.1.1 Panorama general**

La tendencia desde una perspectiva científica, es que existen muchos grupos de investigación que han ido creciendo a medida que las nanociencias se venían desarrollando. Hay coincidencia plena cuando se señala la buena preparación que poseen los jóvenes investigadores españoles en las cuatro áreas NBIC. Casi todo el mundo coincide: las iniciativas han venido surgiendo de los mismos científicos o por el efecto llamada desde la Unión Europea.

18. Para una radiografía exhaustiva de la nanotecnología en España ver: Fundación Madri+d, (2005) Ver asimismo, Fundación Phantoms, (2004)

19. Ver: Genoma España, (2005)

20. Ver: AETIC, (2005)

Hoy, el número de actores públicos y privados es mucho más significativo que hace cinco años. A partir de un listado exhaustivo de fuentes NBIC, entre las cuales destacan las incluidas en la Tabla A.2.1 del Anexos, se han seleccionado aquellas que son relevantes para la convergencia NBIC en España. De esa primera panorámica, y en el Cuadro 2, se describen, por Autonomías, las instituciones públicas, privadas y empresas activas en el área de nanotecnología. Además, en la Tabla A.2.2<sup>21</sup>, se enumeran, de manera exhaustiva las instituciones españolas actualmente activas en áreas relacionadas con las nanotecnologías, con alrededor de 150 relevantes en toda España. En la Tabla A.2.3 se recogen, de la misma fuente, las empresas, centros tecnológicos, fundaciones y asociaciones también activas en toda España y que superan el número de 200<sup>22</sup>. Se incluye en el Anexo 2 también una Tabla A.2.4 en la que se proporcionan listados de expertos internacionales que han participado en actividades recientes NBIC.

Diversas iniciativas han venido contribuyendo a impulsar la nanotecnología en España en estos últimos años. Entre las más relevantes cabe citar<sup>23</sup>:

- La Red Nanociencia, financiada por el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología, y que reunía a jóvenes investigadores con un enfoque de ciencia básica, concluyendo sus actividades a principios del 2004;
- La Acción Estratégica en Nanociencias y Nanotecnología, convocada por el Ministerio de Educación y Ciencia, y que se resolvió en octubre de 2005 con un gran éxito en participación (casi 200 proyectos que englobaban 600 subproyectos), y cuya dotación adjudicada (en forma de subvenciones) era de unos 12 millones de Euros entre una treintena de proyectos;
- La serie de conferencias “Trends in Nanotechnology” (TNT), el encuentro más importante a nivel mundial desde donde se ha observado la rápida evolución de la nanotecnología, y conferencias que se celebraron en España entre los años 2000 y 2005 y que en el año 2006 tendrá lugar en Grenoble (Francia) como evento inaugural de MINATEC (el gran centro de nanotecnología de Francia);
- La Acción Piloto en Nanotecnologías (inicialmente orientada a la convergencia NBIC) de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECyT)<sup>24</sup>. Dentro de ésta se han desarrollado importantes encuentros científicos entre los que destaca el Think Tank en Nanotecnologías (primera edición en el 2004 en El Escorial, Madrid) y que se celebró en Barcelona en el 2005);
- La creación de Institutos de Nanotecnología y de Nanobiotecnología en Cataluña;

21. Ver: Fundación Madri+d, (2005)

22. Las fronteras entre áreas NBIC no están claras a la hora de enumerar entes públicos o privados que se centran de manera estricta en cada una de las cuatro áreas NBIC. Esto se aplica especialmente a los listados que aparecen en el Anexo y donde las actividades de muchas instituciones o empresas solapan indistintamente varios campos (nanotecnológicos, biotecnológicos de las TICs o las neurociencias y neuroingenierías).

23. Ver Fundación Phantoms, (2004)

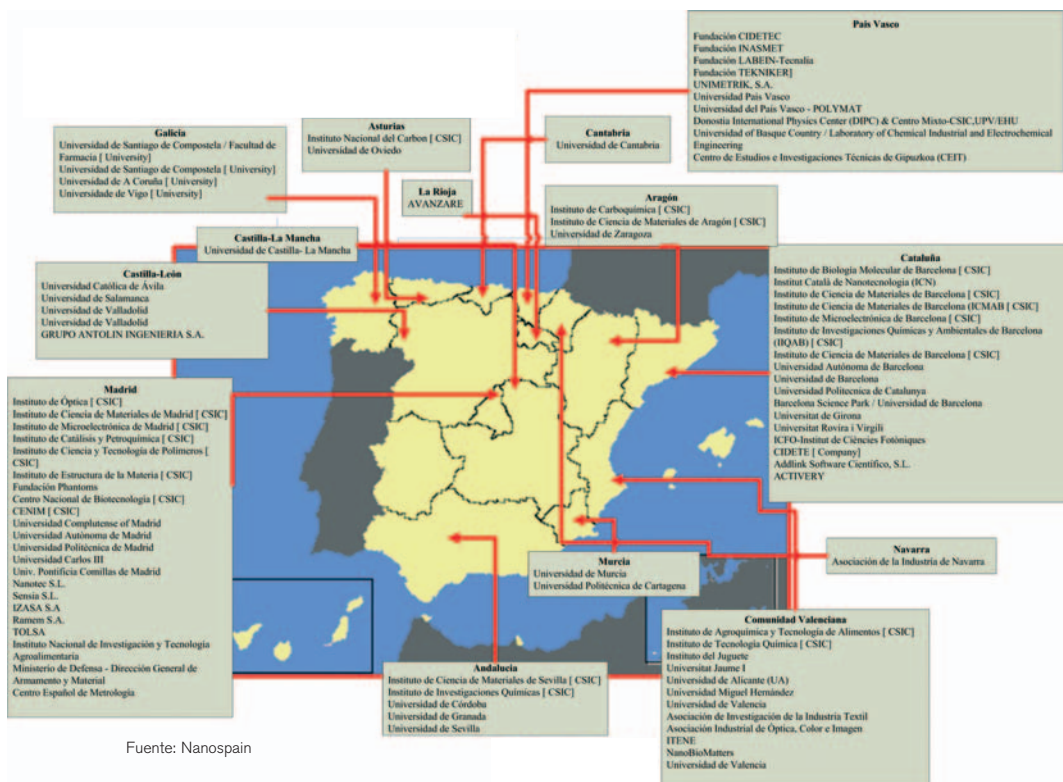
24. Ver: FECyT (2005)



- El Instituto de Nanotecnología de Aragón con sede en Zaragoza;
- La Plataforma Nanotecnológica de la Universidad de Oviedo;
- La propuesta de creación del Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular en Madrid, aunque a día de hoy, y tres años después de su definición inicial, no hay aún indicios de que este instituto emerja en la Comunidad de Madrid en el corto o mediano plazo;
- La creación de otras redes regionales como NanoGalicia, Nanobiocat (Cataluña), o una parte de la Red Saretek (País Vasco);
- Los puntos de información tecnológica en Micro y Nanosistemas de la Comunidad de Madrid

## CUADRO 2

### Instituciones públicas y privadas y empresas relacionadas con Nanotecnología



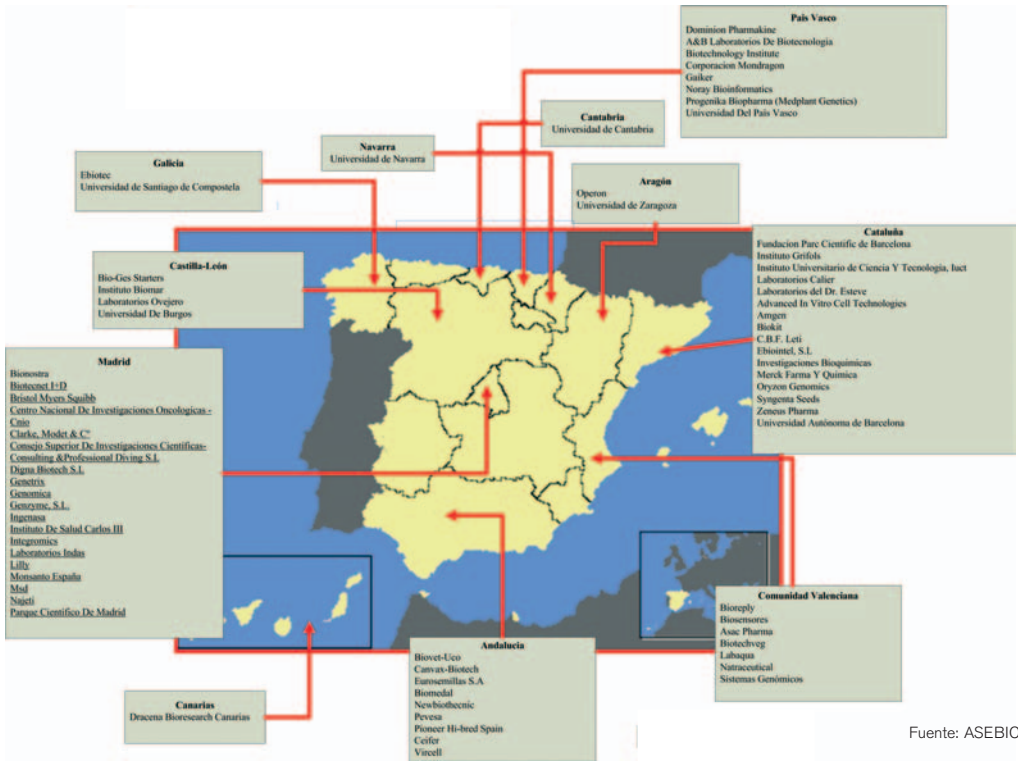
Fuente: Nanospain

En el área de la Biotecnología, con una trayectoria mucho más larga en España, se combinan dos factores que contrastan con las dificultades de despegue real y convergencia de la Nano en relación con otros países Europeos: un personal científico altamente cualificado y la dotación creciente de fondos públicos y privados a la I+D<sup>25</sup>.

Puede afirmarse que existe, al igual que en el caso de la Nano, un muy buen nivel de producción de conocimiento que convive con un importante déficit de aplicaciones y tecnologías, así como con una inversión en capital riesgo casi inexistente. La Bio española, un cuatro por mil del PIB español, con efectos sobre una parte importante de la economía española<sup>26</sup>, tiene una dimensión mitad de la media europea, aunque con buen crecimiento y con visos de converger en 20 años con Europa.

**CUADRO 3**

**Instituciones públicas y privadas y empresas relacionadas con Biotecnología**



En el Cuadro 3, se describen las instituciones públicas y privadas, así como empresas, de ASEBIO, activas en éste área. Actualmente en España, cerca de 370 empresas, entre aquellas completa o parcialmente, usuarias o de servicio, dedicadas a la biotecnología están activas. De ellas, las 3/5 partes se concentran en las Comunidades de Madrid y de Cataluña, y en general, si añadimos Andalucía, País Vasco y Valencia, las cinco Comunidades concentran el 80% de la actividad Biotecnológica nacional<sup>27</sup>.

25. Ver: Genoma España, (2005)

26. En el 2004, se estima que la facturación y el empleo directo, indirecto e inducido por la biotecnología española fueron, respectivamente, de 4.000 millones de Euros y de 36.000 personas. Ver Genoma España, (2005)

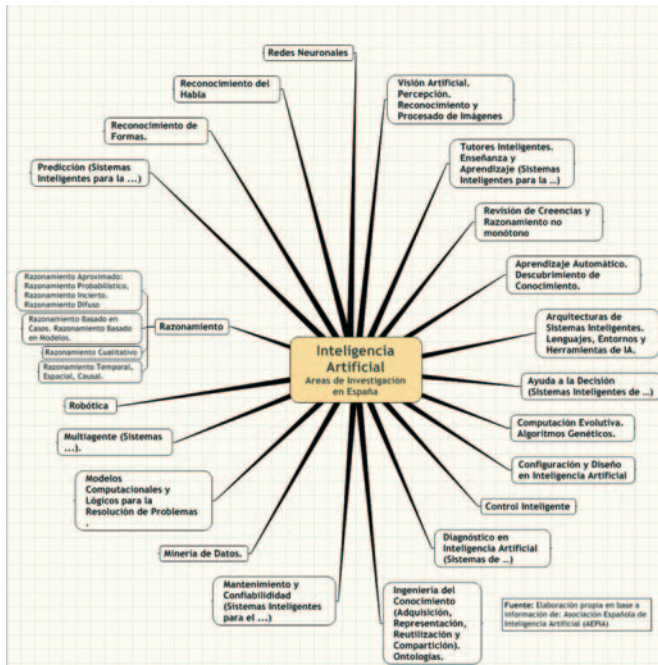
27. Ver: Fundación Phantoms, (2004)

En el ámbito de la Info (TICs), área que solapa completamente el desarrollo de la NBIC, se puede decir que se trata del sector más maduro de las cuatro tecnologías. Con una dimensión de facturación, para el 2004, que supera los 14,000 millones de euros, y cerca de 91,000 puestos de trabajo, se considera hoy que se está consolidando la recuperación del sector. Es importante destacar que tras los servicios telemáticos, son los servicios informáticos los que más importancia tienen. El hecho de que la mayor parte de los puestos de trabajo creados en el 2004 lo haya sido en la producción de software indica la evolución importante de aquellos nichos más centrados en las aplicaciones relacionadas con el conocimiento. Es importante también señalar que en esta área de la NBIC, 2/3 de los gastos en investigación y desarrollo provienen de las propias empresas<sup>28</sup>.

La “ciencia Cogno” es aún muy difusa, y es particularmente difícil hacer balance de los recursos disponibles. El desarrollo de las neurociencias cognitivas, la neuroinformática, la inteligencia artificial y la neuroingeniería no tienen un enfoque “agregado” como en las otras áreas.

Hacer balance de la situación supondría identificar, en cada una de esas áreas, cuales son las instituciones públicas, privadas y empresas que actúan. La labor sobrepasa el ámbito del presente informe. Las vías más prometedoras a investigar deberían ser los avances que se hacen en inteligencia artificial y neuroinformática, muy ligadas a las TICs. En el Diagrama 8, más arriba, se describen las áreas en las que actualmente 121 Instituciones públicas y privadas y sus grupos de investigación trabajan sobre Inteligencia artificial en España<sup>29</sup>. Si bien entre los grupos anteriores se incluyen varias áreas de neuroingeniería, en esta área es importante ahondar más en el futuro sobre la importante actividad que se genera en investigación en este campo por parte de los hospitales españoles.

**DIAGRAMA 8**

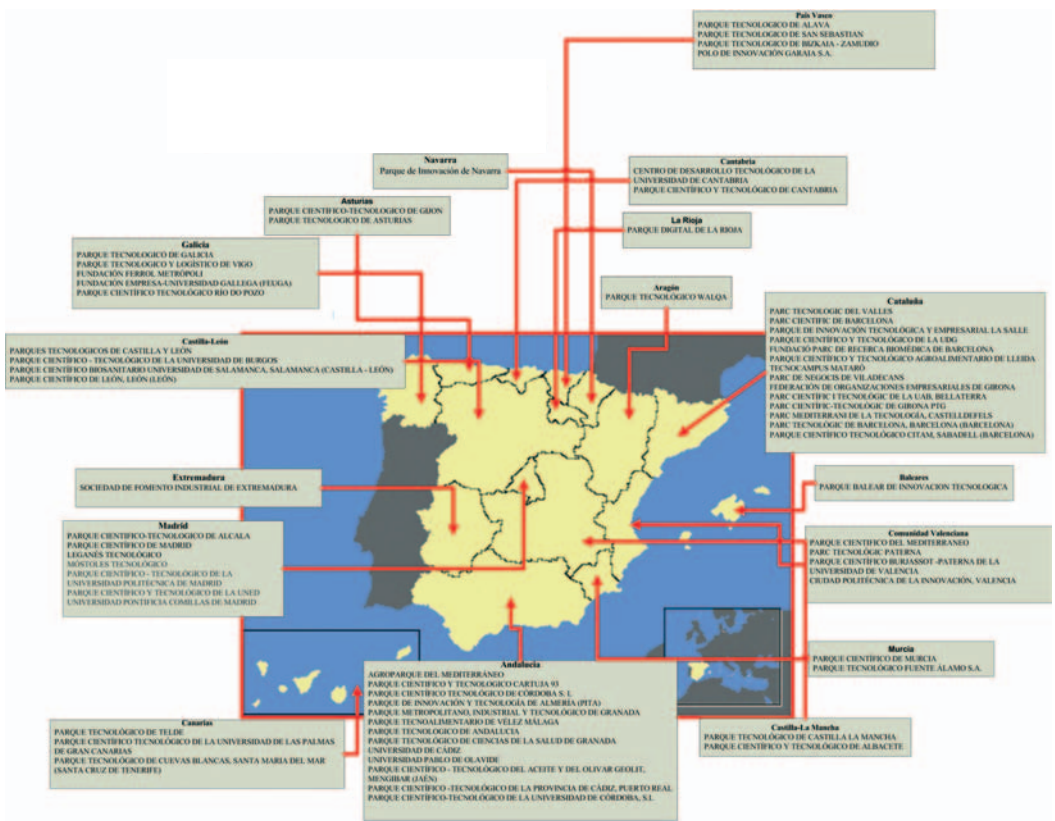


El papel de los Parques Científicos y Tecnológicos de España es clave para la convergencia NBIC. A continuación se muestra la creciente importancia y la amplia expansión que se viene produciendo en las diversas Comunidades Autónomas de España.

Finalmente, y para todo el complejo entramado NBIC español, la red de laboratorios de investigación en las diversas áreas es muy significativa. Se contabilizan más de 640 laboratorios a lo largo de toda la geografía española, la mayor parte de ellos trabajando en aplicaciones de las cuatro áreas NBIC<sup>50</sup>.

**CUADRO 4**

**Parques Científicos y Tecnológicos**



Fuente: Asociación Parques Tecnológicos de España (APTE) y Ministerio Educación y Ciencia

28. Ver AETIC, (2005)

29. Un listado completo puede consultarse en la página de internet de la Asociación Española de Inteligencia Artificial en <http://aepia.dsic.upv.es> (AEPIA, 2005)

30. Un listado completo de los 640 laboratorios puede consultarse en: <http://www.e-informa.com/empresas/Actividad-inmobiliaria-y-de-alquiler--servicio-empresarial/CNAE-7300-INVESTIGACION-Y-DESARROLLO.html>

## III.2 Hacia la identificación del camino crítico NBIC español

El escenario óptimo, a la hora de dibujar todos los “posibles” caminos críticos de la NBIC en España, sería disponer de un mapa completo, para cada área NBIC, de la situación y desarrollo actual de la ciencia y de la tecnología. A partir de ahí, y utilizando una metodología como la que se sugiere en el presente informe, podrían “dibujarse” esos caminos: vías actualmente privilegiadas en España y que habría que superponer a los mapas que se han comenzado aquí a elaborar, en base al análisis estructural, y para la NBIC en el mundo en general, con el fin de poder derivar conclusiones.

Determinada concentración en ciertas áreas nos indicaría, dependiendo de que se trate de áreas “impulsoras” (explicativas o enlace) o no, cuales son los escenarios posibles, los caminos potencialmente prometedores, y consecuentemente, y en función de la situación de los sectores o áreas “receptoras” en España, las consecuencias que para el desarrollo de determinados sectores de la economía española, en particular, tendrían los impulsos esperados.

Con la información actualmente a disposición se pueden, sin embargo, adelantar algunas ideas.

### Nano

#### Expresiones de interés en nanotecnología en España para el VI Programa Marco (por orden decreciente)

- Técnicas de Fabricación
- Técnicas de análisis y caracterización
- Materiales nanocompuestos
- Nanopartículas y nanoagregados
- Medio Ambiente
- Sensores nanoestructurados
- Aplicaciones nanotecnológicas a la industria médica y farmacéutica
- Electrónica

Fuente: Elaboración Propia en base a la Fundación MADRI+D (2005)

El reciente informe de la Fundación Madri+d (2005), ya mencionado, así como el de Fundación Phantoms (2004), identifican las líneas de investigación y las actividades que más interés suscitan desde los grupos de investigación, así como desde el conjunto de miembros de sus redes.

El orden decreciente en el que aparece la enumeración de áreas de actividad puede interpretarse como un indicador aproximado del orden que pudiera seguir el desarrollo de la Nano en España.

A partir de ahí, y tomando esa prioridad, se puede identificar en los mapas de caminos críticos NBIC desarrollados en el Capítulo II, que vías, y que repercusiones puede tener la actividad prioritaria mostrada, sobre el resto de los caminos críticos Nano y NBIC.

El Diagrama 9 muestra en amarillo las variables relevantes como resultado del análisis estructural y que a su vez coinciden con las señaladas como preponderantes en España. A grandes rasgos se puede decir:

- I. El desarrollo de las herramientas para nanotecnologías debería contribuir en el futuro a hacer que se expanda el área Nano de NBIC en España. Es un área que debe ser seguida muy de cerca por el impacto que ejerce sobre todo el subsistema Nano. Lo mismo ocurre con las nanociencias, y en particular con la Física en sus diversas especialidades de aplicación.



II. Una cierta preponderancia de la electrónica, debido a la fuerte interacción bidireccional que experimenta con el subsistema Nano, muestra que los avances en ambos sentidos (expansión de la electrónica hacia, y desde, la Nano) puede autoalimentar el propio crecimiento del subsistema Nano. Se trata de otra variable crítica, la nanoelectrónica.

III. La medicina y la salud, así como la industria farmacéutica, son sectores que ejercen un efecto importante sobre las orientaciones de la Nano en España. Esto es cierto asimismo en relación con la Bio. Sin embargo, la bidireccionalidad de la Bio con ambas asegura un autosostenimiento del proceso que lógicamente acaba redundando en beneficio de la oferta de la Nano hacia ambos sectores.

IV. La actividad en la manufactura “bottom-up”, que refleja el avance de la nanotecnología para aplicaciones estructurales, es otro de los motores de dinamismo prometedores de la NBIC española a través de la Nano.

V. La biotecnología para agricultura y alimentación es particularmente dinámica, y el hecho de que sea principalmente una variable receptora, indica el poder de la demanda desde este sector en el desarrollo de la Bio dentro de la NBIC.

VI. La ausencia de evaluaciones respecto a la Cogno como un todo impide aventurarse en afirmaciones sobre su repercusión en los caminos críticos NBIC. Sin embargo, no debemos olvidar que el dinamismo de la Inteligencia artificial, por ser variable bidireccional, es decir “motor” de la Cogno, debería beneficiar también al desarrollo de la NBIC en España.

VII. Finalmente, si bien la Info (TICs) es variable clave, no parecen haberse desarrollado mucho de manera directa las aplicaciones nanotecnológicas para las TICs o la bioinformática. Sí de manera indirecta, a través del dinamismo de la nanoelectrónica, lo que debería, tarde o temprano, crear un mayor dinamismo en las propias TICs (con los efectos dinamizadores para toda la NBIC que conlleva). Es importante asimismo recordar

Nano	
<b>Distribución de miembros de Nanospain por contribución a líneas y sub-líneas de investigación (en orden decreciente)</b>	
Nanoelectrónica	
·	Materiales magnéticos
·	Nanoelectrónica
·	Optoelectrónica
Investigación de largo plazo con aplicaciones genéricas	
·	Física cuántica
·	Auto-ensamblaje
·	Interfaz con lo orgánico
·	Otros (polioxometales, orgánico-inorgánico)
Instrumentos y equipo	
·	Equipo para depósitos
·	Equipo analítico
·	Equipo “Patterning”
·	Producción de nano-polvo
·	Otros equipos (máquinas de precisión, metrología, equipo de nanofabricación, equipo de caracterización, herramientas de nanoposicionamiento)
Nanotecnología para aplicaciones estructurales	
·	Materiales compuestos
·	Materiales basados en tubos de carbono
·	Capas de nanopartículas
·	Cerámica de nano-polvos
Nanotecnología para la electro-química	
·	Catalizadores o electrodos con superficies nanoestructuradas
Nano-(bio)-tecnología para aplicaciones médicas	
·	Dispensa de medicamentos dirigida
·	Otros (materiales bio-compatibles, análisis molecular, interfaz biológico-inorgánico, diagnósticos de reconocimiento molecular)
Nanotecnología para aplicaciones de sensores	
·	Sensores nanoestructurados
·	Sensores basados en moléculas biológicas

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Red Nanospain

## Avances pioneros en Biomedicina

### El Grupo de Aplicaciones Biomédicas del CNM/UAB

El Grupo de Aplicaciones Biomédicas del CNM /UAB inició, en 1991, el desarrollo de una interfase neural, Intelligent Neural Interface, (ESPRIT BR-8897); axones nerviosos y electrónica podrían "dialogar" a partir de un chip implantado. Anteriormente se había trabajado en implante coclear, IC, restitución de la pérdida de audición por estimulación eléctrica en personas con sordera neuro-sensorial; hoy el IC es una realidad clínica que beneficia a miles de personas en el mundo. A partir de ambas experiencias se trabajó en restitución de la visión (MIVIP ESPRIT LTR# 22527). No se ha llegado todavía al mismo nivel que en la audición pero una cámara CCD y un sistema implantado permiten a un individuo ciego reconocer objetos y cogerlos con precisión, por ejemplo una botella en la mesa del comedor.

Algo más tarde el GAB inició una nueva línea, biomonitorización. Microsensores inteligentes, electrónica e informática para tratamiento de la información y telecomunicaciones permiten la monitorización continuada del corazón en cirugía cardíaca extracorpórea (MicroCard, ESPRIT LTR 33485), el estado de un órgano para trasplante (MicroTrans, IST-1999-13047), o el efecto de una droga en un cultivo de células nerviosas (tratamiento de Alzheimer) o oncológicas (tratamiento del cáncer).

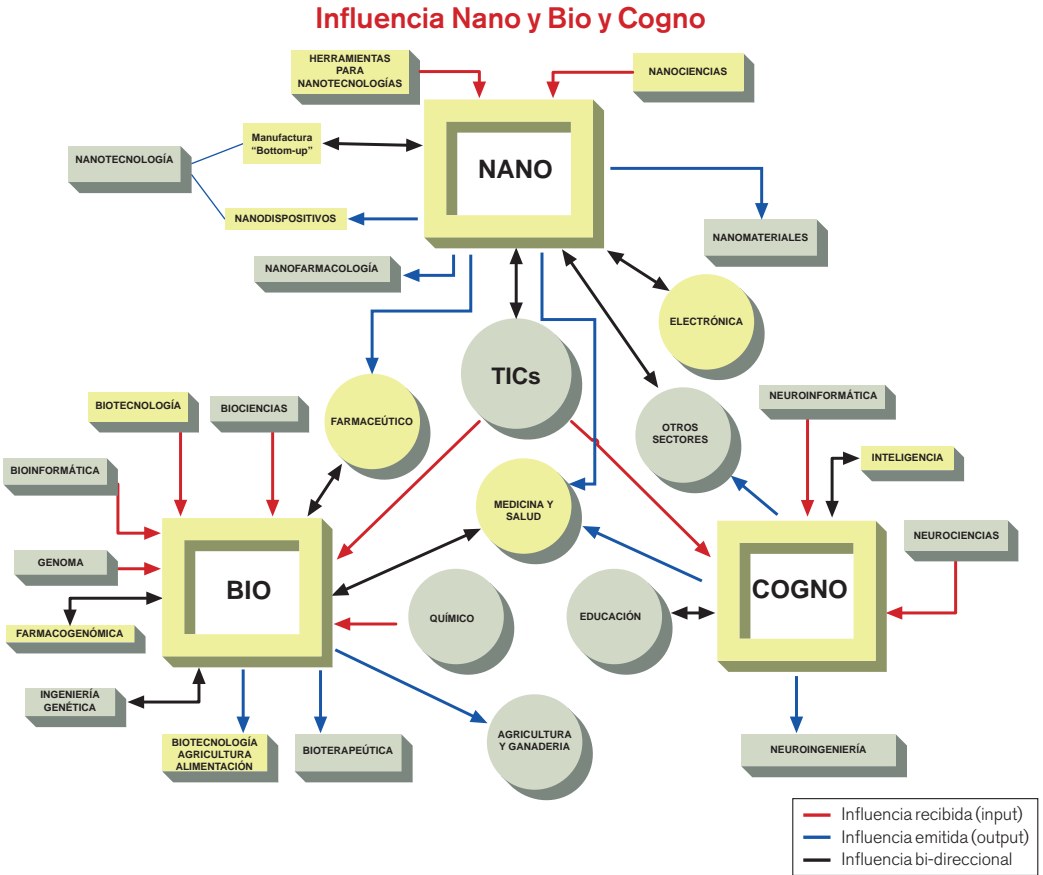
Algunos de estos y otros proyectos han significado resultados patentable, hoy en explotación en spin.off's del propio grupo o por grandes empresas como Air Products entre otras.

el dinamismo de puestos de trabajo que se viene registrando en el área del conocimiento de las TICs y el software informático, lo que estaría repercutiendo positivamente en el papel general de la Info en las NBIC

Son sólo éstas unas primeras constataciones que lo que quizás ilustran es el potencial de metodologías apropiadas para contribuir a abordar mejor el futuro las estrategias sobre la NBIC para España.

DIAGRAMA 9

# NBIC CAMINOS CRÍTICOS



### III.3. El nexo ciencia-tecnología-comercialización

Si los síntomas del “enfermo imaginario” son esa enorme dificultad para hacer realidad el nexo ciencia-tecnología-comercialización, lo que es prioritario es encontrar las herramientas capaces de lograrlo.

En la consulta abierta sobre la “Estrategia Europea de Nanotecnología”<sup>51</sup>, científicos y empresarios han opinado que de aquí a 5 o 10 años la Nanotecnología (y por ende la NBIC), afectará a la sociedad y a la industria. La propia Bio, las TICs, medicina y salud o nuevos ma-

51. Ver: European Nanotechnology Gateway, (2004)

52. Los Start ups son en cierto modo una forma de hacer el test y el desarrollo de nuevos productos, de manera flexible y a pequeña escala, productos, procesos o incluso pequeñas empresas que acaban desarrollándose sobre los pilares de la innovación.



teriales se verán rápidamente alcanzados por los efectos de esta nueva ola que trae la sociedad sostenible del conocimiento. Dicho efecto podría acelerarse y generar más rápidamente los beneficios esperados si se aceleran las oportunidades de inversión en “start-ups”<sup>52</sup>, facilitando de esa forma la comercialización, para la nano y en general para la NBIC. Quizá uno de los mayores obstáculos a superar sea que en menos de cinco años podría haber una escasez de expertos formados en nanotecnologías, y en NBIC en general. Esto nos trae de nuevo al Cuadro 1, Sección II.1, y en particular a la necesidad de encarrilar seriamente los aspectos de formación multidisciplinar.

Querer promover “Start-ups” no es suficiente. Para que los “Start-ups” sean exitosos para las Pymes, son necesarios una serie de requisitos, propios de la SSC, y entre los cuales encontramos, clasificados por orden de importancia decreciente: mano de obra altamente cualificada, cooperación con Universidades, inversión privada, acceso a la financiación pública, protección del conocimiento a bajo costo, acceso a grandes socios o clientes, incertidumbre sobre riesgos o aceptación pública, o la necesidad de estándares internacionales.

Transformar un proyecto en un negocio es, en plena SSC, buscar formas de apropiarse del conocimiento. Las empresas tienen ante sí el reto de encontrar formas alternativas de coleccionarlo, y los demás actores de dicha SSC, la necesidad de contribuir a que eso ocurra en beneficio de la NBIC y de todos. En definitiva, nos encontramos ante una opción “ganadora-ganadora”, aunque empezamos solo ahora a vislumbrar que la clave fuese tan evidente.

No es la primera vez que se insiste en fomentar la expansión de los “start-ups”. En el caso de los TICs y la biotecnología (dos áreas NBIC), esto ya se viene produciendo, sin embargo, se puede constatar que el “miedo al fracaso empresarial” sigue estigmatizando a la sociedad científico-empresarial española. Capacidad emprendedora, talento y dinero (capital riesgo) deben combinarse, y así lo han hecho ya en muchos casos en determinadas regiones europeas donde los ejemplos son diversos. Ya sea en Cambridge, Reino Unido, con “Start-ups” tecnológicos en genéricos, sensores u óptica, en Estocolmo con las TICs y los teléfonos móviles, o en Berlín, Hamburgo o Munich con las Bio y las TICs. También es interesante señalar el crecimiento de la industria de capital riesgo en Japón, así como el apoyo e inversiones en I+D que pasaron del 1% al 2,2% del PIB de la República de Corea en menos de 7 años.

En toda estrategia española para las NBIC, parece evidente que la dimensión de los “Start-ups” y su fomento, en particular desde Parques Científico-Tecnológicos, debe ser examinada con atención. Es probablemente ahí donde se encuentra la clave de la recuperación del “enfermo imaginario”, enfermo por no atinar en centrarse a cerrar el nexo ciencia-tecnología-comercialización.

La capacidad empresarial es el factor más determinante. Para que ocurra todo esto, es necesario que las grandes empresas comiencen a aprender a entrar en “partenariado” con las pequeñas. No es esto simplemente la expresión de un deseo, sino la traducción de las características de “escala” que posee el desarrollo de la NBIC en la SSC. El éxito de ambas depende de esta colaboración. De la misma forma, las empresas tecnológicas serán “brokers” de proyectos de innovación adquiriendo “start-ups” tecnológicos con potencial de respuesta a futuras oportunidades de mercado. Quizá también puedan, y deban, determinadas empresas

crear sus propios fondos de capital riesgo, abriendo así ventanas al desarrollo de los “start-ups”. Finalmente, no se puede subestimar la importancia del factor humano, pues como se señaló en el Capítulo I del Informe, alrededor de los trabajadores/ingenieros del conocimiento va a desarrollarse plenamente la NBIC en la nueva SSC.

### Madrid-Zona norte: un espacio de oportunidades para el desarrollo de la Nanotecnología

Es indiscutible el potencial de la Comunidad de Madrid en el ámbito de las Nanociencias. Este potencial se pone de manifiesto en las actividades investigadoras de más de medio centenar de grupos universitarios y de Organismos Públicos de Investigación en diferentes aspectos de las Nanotecnologías. Una gran parte de estos grupos de trabajo están adscritos a centros o institutos que se ubican en la zona norte de Madrid, concretamente en el entorno de Cantoblanco (Campus de la Universidad Autónoma de Madrid, Parque Científico de Madrid, y sede de cinco centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y de Tres Cantos (pequeña población donde se ubica el Instituto de Microelectrónica de Madrid del CSIC en el Parque Tecnológico de Madrid, y el Centro Español de Metrología). Además de estas instituciones oficiales, diversas empresas como Glaxo, Nantotec, Laboratorios Lilly, o la Fundación Phantoms se ubican en este privilegiado entorno. Si además se tiene en cuenta la existencia de la Facultad de Ingeniería del Conocimiento de la UAM, y la de los Hospitales “Ramón y Cajal” y “La Paz”, ubicados también en la zona norte del municipio de Madrid, nos encontramos ante un verdadero polo de conocimiento desde la perspectiva NBIC.

Este destacado interés por la Nanotecnología se puede deber en gran parte al hecho de que la Universidad Autónoma de Madrid fuese el segundo lugar del mundo en donde se dispuso de un Microscopio de efecto túnel (STM) hace ya veinte años. Esto ha favorecido la formación de muchos científicos que “han crecido” en el ámbito de la nanomanipulación atómica. Teniendo en cuenta todas las instituciones que se encuentran en esta zona, se llega a la conclusión de que se realizan investigaciones en casi todas las líneas de investigación dentro de las Nanociencias: síntesis de nanopartículas y sistemas nanoporosos para diversas finalidades (sensores, catálisis, grabación magnética), manipulación de átomos, moléculas, fullerenos y nanotubos de carbono sobre superficies, sistemas autoensamblados, estudio de las propiedades mecánicas de ADN, proteínas y virus, crecimiento de nuevos materiales mediante epitaxia por haces moleculares (MBE) que poseen propiedades únicas (magnetorresistencia gigante entre otras), estudio de cadenas formadas por unos pocos átomos, simulación de la materia a escala nanométrica, etc. Es esta gran variedad de líneas de investigación y la existencia de cierta masa crítica en las mismas lo que confiere a esta zona el carácter de “polo nanotecnológico”. Dicho “polo” debe ser capaz de utilizar los frutos de las sinergias que surgirán entre los grupos de investigación como germinador de futuras “start-ups” de alto valor añadido y basadas en la convergencia de las nuevas tecnologías. A su vez debe ser capaz de atraer a empresas ya consolidadas para que reorienten sus estrategias de I+D en la dirección que marque la convergencia NBIC. Sin embargo, todavía no se ha podido nuclear una poderosa iniciativa en Nanotecnología en términos de un Instituto de Nanotecnología, a pesar de haber habido varios intentos en esta dirección. Dicho centro, sin duda alguna, sería otro hito en el camino hacia la convergencia NBIC.

Sobre el futuro de Madrid como “Región de la Ciencia”, ver Comunidad de Madrid (2005)

### III.4. Políticas públicas y visión prospectiva

Sin duda, frente al reto de las NBIC, se presentan tres retos importantes a los que la administración española, y sus socios de la SSC, deben responder de manera coordinada.

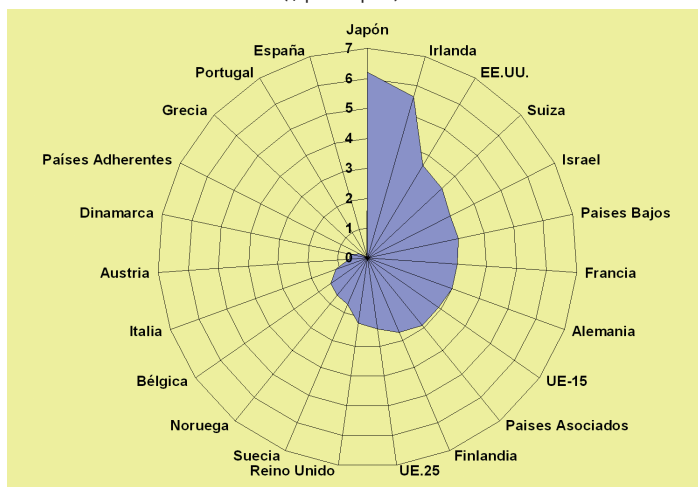
El **primero** es conocido de todos: la necesidad de alcanzar niveles de apoyo nacional a la I+D+I que converjan con nuestros socios europeos. El reto es importante, y la voluntad y dirección a tomar ha sido ya ampliamente manifestada a todos los niveles, y entre otros a través del lanzamiento de los programas CENIT, Ingenio 2010, etc.

#### CUADRO 5

### ESPAÑA: “EN EL VÓRTICE DE AMONITES”

#### Gasto Público en Nanotecnología

(\$ per capita) 2003

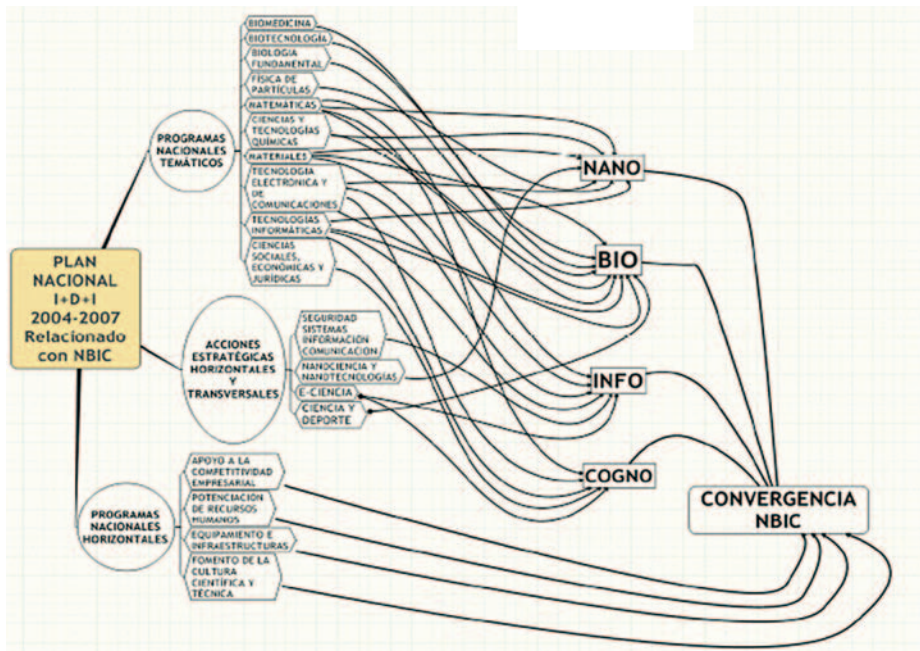


Fuente: Elaboración propia en base a Fundación Phantoms

Sin embargo, el camino por recorrer es aún muy largo y espinoso. Es ilustrativo a este respecto recordar que dentro una de las áreas de NBIC, la Nano, España se encontraba relegada a ocupar, con datos del 2003, lo que podríamos denominar el lugar situado en el “Vórtice del Amonites”; en el origen del crecimiento de ese fósil que poco a poco se va desarrollando a medida que las economías de los países más avanzados se sitúan, y actúan, conscientemente para responder a los retos de la Sociedad Sostenible del Conocimiento. De los 0,04 \$/cápita<sup>35</sup> de España en gasto público en nanotecnología, a los más de 3\$ de Estados Unidos, o los más de 6\$ de Japón hay aún un trecho, y en especial si consideramos el nivel de desarrollo de la economía española frente al resto de las economías desarrolladas que se sitúan a lo largo de esa espiral.

35. Se estima que esta cifra sigue aún siendo muy baja, aunque debería estar más cercana, en este año 2005, a los 0,5-0,6 Euros por habitante en España, si se incluyen asimismo aquellos proyectos de ámbito “nano” que se financiaban dentro de Programas Nacionales con otro etiquetado, como Física, Química, Materiales, Biología, etc...

NBIC Y PLAN NACIONAL I+D+I



Fuente: Elaboración propia en base al examen del Plan Nacional de I+D+I 2004-2007

El **segundo** es relativo a la necesidad de reflexionar urgentemente sobre como darle forma a la realidad NBIC, en el marco del Plan Nacional de I+D+I 2004-2007, a pesar de que dicha realidad no sea aún considerada como tal en ese documento. Si bien el Plan Nacional I+D+I 2004-2007 no incluye secciones relativas a las NBIC como tal, si es cierto que el área Nano está integrada en algunas áreas, como también ocurre con otras áreas NBIC. De hecho, y si examinamos el Plan en su conjunto, destacan interrelaciones con la convergencia NBIC. En el Cuadro 6, más arriba, se ha trazado, de forma preliminar, un gráfico orientativo de dichas interacciones que puede ayudar a identificar algunos de los lazos que relacionan dicho Plan con el fenómeno de la convergencia NBIC abordado en el presente informe<sup>54</sup>.

En cuanto al **tercero**, se trata de crear una dinámica nacional que lance una reflexión sobre cómo contribuir a cerrar el nexo ciencia-tecnología-comercialización en la NBIC. Identificar los mecanismos para hacerlo es tarea de todos y no puede quedar desligada de las otras dos acciones más arriba mencionadas. Nuevas plataformas científicas y tecnológicas, quizás a nivel de la península Ibérica en su conjunto. Plataformas desde donde se lancen iniciativas novedosas en relación, por ejemplo, con los “Start ups” en las áreas NBIC. Plataformas capaces, quizá, de convertirse en “polos de atracción” para nuevos proyectos europeos que luego podrían ver la luz a través de esfuerzos hacia una capacidad emprendedora renovada.

54. Para un análisis del seguimiento del Plan Nacional I+D+I de las actividades realizadas en el 2004 ver: Comisión de Seguimiento del Plan Nacional, (2005).



## Capítulo IV

# El desafío de la convergencia NBIC en España: políticas de ciencia y tecnología

España posee en estos momentos una de las economías más dinámicas de la Unión Europea, junto con los países nórdicos, pero mientras estos últimos lideran las transformaciones punteras de la Sociedad de la Información (Castells, Himanen, 2005), en España se vive un proceso de modernización y adaptación que propicia el acercamiento a los niveles de renta y calidad de vida europeos. España recupera un retraso económico relativo mejorando la obra construida y la disponibilidad de servicios.

A medida que la convergencia económica se acelera (el diferencial positivo de crecimiento con el resto de la Unión Europea y en especial de la zona euro aumenta) recaen nuevas responsabilidades sobre la economía española: formar parte del pelotón de cabeza implica responsabilidades en lo que se refiere a la orientación y al contenido de la transformación de la Sociedad de la Información en Sociedad Sostenible del Conocimiento (SSC).

El modelo de la Nueva Economía requiere un flujo continuo de innovaciones y una evolución de precios relativos que lo oriente en esa dirección. Por el momento, en esta etapa de puesta a nivel, la Nueva Economía en España se beneficia directa e indirectamente, vía flujos de capitales, de tecnologías, de bienes de equipo y de know-how, del progreso tecnológico de los países industriales más avanzados. El sistema económico español innova mucho en procesos productivos (en la encuesta española de innovación un 62% de las grandes empresas que señalan innovar con éxito hacen innovaciones de procesos, frente a una media europea del 41%, COTEC, 2005), gracias esencialmente a conocimientos adquiridos en el exterior: los precios relativos, con subidas espectaculares de la vivienda y de los servicios, siguen estimulando el consumo más básico de objetos y energías. Es esta una Nueva Economía de

los albores de la Sociedad de la Información, apoyada en la dinámica demográfica de la inmigración y en los valores de la riqueza material; un modelo híbrido de industrialismo y de modernización que ha despertado de su letargo al espíritu empresarial del país.

Está España mucho más lejos de la Sociedad Sostenible del Conocimiento que lo están los países de la vanguardia europea, en especial los países nórdicos, pero puede aprovechar su dinámica expansiva para empezar a explorar con ellos el modelo económico y social del siglo XXI.

La Sociedad Sostenible del Conocimiento no es el resultado de una prospectiva de exploración: son muchas las tendencias que apuntan en la dirección contraria. Estamos muy lejos de la deseada desvinculación entre el crecimiento del bienestar económico y el consumo de energías y recursos finitos; a lo que se une el imparable aumento de la población mundial o la entrada en escena de países como China o India que basan su desarrollo en fórmulas de crecimiento tradicionales; estabilizar las emisiones contaminantes parece inalcanzable; y en muchos países aumentan las tensiones sociales y hasta la violencia; los proyectos educativos, a pesar de la llegada de las tecnologías de la información, son más lentos y están peor distribuidos de lo que cabría esperar y desear.

Si la Sociedad Sostenible del Conocimiento se conceptualiza por el contrario como el resultado de una prospectiva normativa, entonces es obvio que su contenido debe inspirar las políticas públicas y en particular, aquellas que ejercen influencia activa sobre el funcionamiento del sistema económico, y en especial sobre el flujo de innovaciones que dicta su evolución. Para España, insertarse en el pelotón de cabeza de los países europeos que diseñan hoy la futura Sociedad Sostenible del Conocimiento implica participar en el proceso de desarrollo de las innovaciones que este diseño requiere.

La Convergencia NBIC, analizada en este Informe, no es la única fuente de posibles innovaciones para la futura SSC, ya que existen otros posibles nichos de convergencia como la previsible asociación de la Nanotecnología con las ciencias medioambientales y con las ingenierías que estudian las fuentes y consumos de energía. Sin embargo, la convergencia NBIC está llamada a ser una pieza de la nueva oleada de tecnologías que ayudarán a dar contenido específico a la SSC.

Abundan los balances críticos sobre el sistema de innovación español.

A título de síntesis de estos trabajos destacaremos las siguientes conclusiones de Víctor Pérez-Díaz y Juan Carlos Rodríguez (2005):

- “debilidad de nuestra infraestructura de innovación (...). Es cierto que ha crecido mucho el gasto en I+D y también el personal dedicado a estas actividades; pero España apenas se ha movido de los últimos lugares en los rankings correspondientes (...) los distintos impactos según la disciplina científica sugieren una especialización no demasiado afín a una competición en tecnologías de la información, biotecnología o nanotecnología, las cuales se supone, están indicando las vías del futuro”;

- “debilidad del entorno de innovación proporcionado por el tejido productivo (...) el reducido peso de la industria de tecnología alta y medio-alta y, peor aún, la mínima variación que dicho peso ha experimentado en los últimos veinte años”
- “debilidad en los vínculos entre la infraestructura de innovación y el tejido empresarial (...) aunque la colaboración empresa-universidad sea hoy mayor que hace veinticinco años, no está claro que se mueva en una senda ascendente en la última década”

Bastante desoladora, esta síntesis no es muy diferente de la que se podría hoy hacer en numerosos países europeos (con las excepciones ya mencionadas de los países nórdicos) aunque los problemas son evidentemente más agudos en España, debido al menor peso relativo de la investigación en ciencia y tecnología (Buesa, 2003). España y gran parte de Europa encuentran serias dificultades para promover desde su sistema de I+D, el flujo de innovaciones que requiere el círculo virtuoso de la Nueva Economía.

Pero cuando la mirada se desplaza hacia el futuro, cuando se considera la oportunidad que ofrece la convergencia NBIC, entonces lo que se observa es que todos los sistemas de innovación, desde los más eficientes de Estados Unidos, de Japón o de los países nórdicos, hasta los más deficientes de la península ibérica o de los otros países mediterráneos de la Unión Europea, están prácticamente en una posición de partida similar. Aunque cada una de las temáticas que confluirán en la convergencia han experimentado una evolución de más de dos décadas, la convergencia en sí misma es una revolución tecnológica que todavía está en su fase inicial.

Tras una larga etapa en la que se han descrito los síntomas que aquejan al sistema de I+D, se ha pasado a una fase en la que abundan las recomendaciones sobre los cambios necesarios en la I+D, y en general en el sistema de innovación español. Con la intención de superar la fase de estancamiento en el ámbito de la I+D que se constató durante la década 1990-2000, el Gobierno ha decidido adoptar una política activa en este campo, apoyada en un aumento importante del gasto público, y en la inclusión de modificaciones en el Plan Nacional de I+D 2005-2007 tanto en los contenidos como en los instrumentos de financiación. Se espera con esta política apalancar el esfuerzo empresarial en I+D+i que por el momento es claramente insuficiente. Un objetivo prioritario es aprovechar mejor la excelencia científica de la investigación pública española para que la innovación empresarial pueda beneficiarse de ventajas competitivas autóctonas, y pueda apropiarse, mediante el desarrollo de patentes y know-hows propios, las ganancias derivadas de las innovaciones tecnológicas.

La nueva política tecnológica española es una política que lleva implícito un modelo de catching-up, de recuperación del retraso tecnológico acumulado en relación con los países más avanzados de la Unión Europea. De esta política se esperan resultados a corto plazo, y en especial, una mejor inserción de España en la oleada de innovaciones que sustenta hoy la Sociedad de la Información.

Al centrar su atención de manera más específica sobre el desarrollo de la convergencia NBIC, o sea sobre la oleada siguiente de tecnologías que se encuentra ahora en estado incipiente, el Grupo de Orientación de este estudio de EOI ha optado necesariamente por recomenda-



ciones a más largo plazo que deberían completar la política de catching-up, aportando elementos para la participación activa de la I+D+i española en el proceso de configuración de la futura Sociedad Sostenible del Conocimiento.

En el contexto de una dinámica europea de liderazgo tecnológico en la que se quiere participar en plan de igualdad de contenidos y de excelencia, las medidas necesarias se refieren a tres campos de posibles actuaciones públicas:

- la formación superior y la investigación multidisciplinar;
- las plataformas tecnológicas y el “partenariado” público-privado;
- y los start-ups; como elemento de una estrategia de atracción, apropiación y ampliación del conocimiento científico-tecnológico.

En estos tres campos obviamente ya existen políticas concretas, y programas de gasto público, en línea con lo que se hace en otros países europeos. Las consideraciones siguientes se elaboran desde el punto de vista más restrictivo de la convergencia NBIC y de los requerimientos que esta convergencia transmite a los sistemas modernos de innovación.

## **IV.1 Sobre la formación superior y la multidisciplinaridad**

Como se ha podido observar con el análisis descrito en los anteriores capítulos de este informe, la convergencia NBIC se produce en el campo científico, pero sus desarrollos concretos se verifican en el campo de las aplicaciones tecnológicas, de la ingeniería. La convergencia NBIC es también una convergencia entre ciencia y tecnología, promovida en su fase inicial, debido a la amplitud del tema, por la especificidad de algunas aplicaciones (por ejemplo en medicina y salud).

En el campo científico, la convergencia implica una capacidad investigadora adaptada a las nuevas exigencias de interdisciplinaridad, apoyada en un lenguaje común de los físicos, los químicos, los biólogos, los neurocientíficos, los matemáticos, y también de los científicos del hombre y de la sociedad; es el lenguaje común de la convergencia molecular, del comportamiento de los infinitamente pequeño, del posicionamiento humano en el universo “invisible”. Las disciplinas científicas están todavía mal preparadas para esta convergencia del conocimiento fundamental, después de varios siglos de especialización y reduccionismo, de tunelización en campos del saber cada vez más acotados.

A un nivel más fundamental, interviene la necesidad de desarrollar una “ciencia del diseño” capaz de integrar en el funcionamiento de la sociedad los avances del conocimiento multidisciplinar.

En la ciencia del diseño se concentran los progresos de las ciencias cognitivas sobre la estructuración del pensamiento, junto con los de las ciencias sociales sobre el funcionamiento de

los mecanismos de la economía, de la sociología, o de la antropología, en torno a las lógicas abstractas de la complejidad. El diseño se entiende aquí como la clave de la multidisciplinariedad, como una tarea de construcción científica del futuro, de internalización sistémica de la capacidad humana y social para controlar la evolución.

En el campo tecnológico, la necesidad de nuevas generaciones de “ingenieros convergentes” es aún más evidente; se trata de ingenieros preparados para afrontar en el plano práctico los problemas complejos, multidimensionales, con interdependencias en niveles hoy aparentemente inconexos (nuevos materiales, informaciones genéticas, inteligencia artificial, etc.) que derivan de la ciencia del diseño; se trata de ingenieros capaces de poner en funcionamiento nuevos sistemas sociotécnicos en contextos de participación social y con restricciones económicas; se trata de apoyar la estructura productiva con conocimientos de ingenierías integradoras y generalistas.

Estas exigencias de la convergencia científica y tecnológica de las NBIC plantean la necesidad de una reforma en profundidad de la enseñanza, y parece evidente que los países europeos pueden aprovechar las adaptaciones inducidas por la creación del Espacio Europeo de la Educación Superior para posicionarse en materia de requerimientos de multidisciplinariedad e integración del conocimiento de la nueva oleada de tecnologías.

Evolucionar en esta dirección en el campo de la educación superior significa adentrarse en terreno desconocido tanto por sus aspectos de inversión de las tendencias a la super-especialización, como por sus repercusiones a niveles más básicos de la educación primaria y secundaria.

Como todos los países europeos se encuentran ante un reto similar, la posibilidad de apoyarse en enfoques de tipo bench-marking es muy reducida; escasean las experiencias, los éxitos o los fracasos.

Por ello **se recomienda la creación de un proyecto español de estudio de alternativas en el campo de la educación científica y técnica**, para introducir en los programas las exigencias formativas de la convergencia NBIC, así como el apoyo de **proyectos piloto de formación** en áreas NBIC que permitan establecer referencias para un benchmarking posterior.

Este estudio debería incluir propuestas de largo alcance (con efectos en 20-30 años) y actuaciones de transición, estas últimas en el campo:

- de la formación de postgraduados en áreas de la convergencia NBIC;
- y en el de la formación permanente, con temas de vanguardia sobre el desarrollo NBIC y su conexión con las ciencias sociales.

En estas actuaciones de transición deberían incluirse con carácter prioritario las que relacionan la enseñanza superior con la investigación (CE, 2004), que son especialmente indisolubles para el desarrollo de las NBICs. Del mismo modo se deberá estar atento a las iniciativas similares que vayan proponiéndose o poniéndose en marcha en otros países, especialmente los de la UE.

En efecto, existen numerosos indicios de que los sistemas de formación actuales no son muy idóneos para el fomento de la investigación, en especial en lo que se refiere a los trabajos en equipos interdisciplinarios, y que sería importante aprovechar directamente proyectos concretos de investigación (en especial proyectos relacionados con la convergencia tecnológica) como elemento de formación de investigadores.

También se considera oportuno introducir en el sistema público de investigación (Universidades y OPIs) una infraestructura idónea para el trabajo multidisciplinar y abierta al mundo, como lo requieren la convergencia NBIC y la Sociedad Sostenible del Conocimiento. La próxima creación de la nueva Agencia de Financiación de la I+D así como la reconversión del CSIC en Agencia, son puntos de partida adecuados para fomentar la investigación multidisciplinar de forma que el sistema público esté bien posicionado para encaminarse hacia las posibles convergencias científico-tecnológicas que puedan plantearse, la NBIC entre ellas. Es evidente que los progresos de las tecnologías de la información y en particular el desarrollo de Internet, han modificado las características de la infraestructura necesaria para la investigación científica y técnica en red.

Sin embargo, sigue siendo importante que los sistemas institucionales y las infraestructuras físicas (centros de investigación) también se abran a las exigencias de intercambio entre especialistas que se identifican con la convergencia NBIC.

Por ello se recomienda la elaboración de un proyecto español de centros de investigación multidisciplinarios, centros que incorporen las disciplinas tradicionales, junto con los componentes de los principales sistemas sociotécnicos (salud, educación, seguridad, ambiente, etc.); y las capacidades teóricas más básicas junto con los saberes aplicados de la ingeniería y de las ciencias sociales. Estos centros pueden implicar nuevas infraestructuras, una reconversión de infraestructuras existentes, o un reforzamiento de las relaciones en contextos virtuales (intercambios, observatorios, redes de información, etc.). El éxito futuro del desarrollo de las NBICs en forma de nueva oleada de innovaciones dependerá del buen funcionamiento críptico de estos nodos de encuentro de la investigación teórica y aplicada. Dichos centros pueden ser de nueva creación o pueden construirse a partir de institutos ya formados en los que se detecte una incipiente multidisciplinariedad en sus líneas de investigación.

Liderarán el movimiento general hacia la Sociedad Sostenible del Conocimiento las regiones del mundo que consigan transformar sus sistemas de producción de conocimiento hacia estructuras que proporcionen prestigio investigador y reconocimiento científico a las fases generalizadoras e integradoras de los saberes especializados. La “sabiduría global” es la piedra angular de la Sociedad Sostenible del Conocimiento.

## **IV.2 Sobre las plataformas tecnológicas y otros “partenariados” público-privados**

Si la función de estímulo de la I+D+i empresarial es un objetivo bien enraizado en las políticas científicas y tecnológicas europeas, que ha propiciado el desarrollo de numerosos ins-

trumentos institucionales (medidas fiscales, contenidos de planes de investigación, apoyo del capital-riesgo, fomento de parques tecnológicos, etc.), la convergencia NBIC introduce nuevas dimensiones en estas políticas.

Como se ha señalado en anteriores capítulos, las innovaciones NBIC están íntimamente vinculadas a las transformaciones de grandes sistemas sociotécnicos como la salud o la educación en los que los poderes públicos intervienen tradicionalmente en Europa asumiendo colectivamente una importante parte del coste de los servicios.

Esta situación hace que la relación publico-privada no pueda limitarse en este sector a un apalancamiento neutral de la inversión privada por parte del sector público. Las principales líneas de investigación que llevan a futuras transformaciones de los sistemas sociotécnicos que sostienen el sistema productivo, se inscriben de propio derecho en las políticas a largo plazo de los Gobiernos, y delimitan el campo de actuación de las empresas y de los mercados.

Además, esta orientación pública de la investigación sobre grandes sistemas sociotécnicos también es oportuna en el momento en el que necesariamente tienen que tomarse en consideración imperativos éticos, lo que es el caso de numerosos aspectos de la convergencia NBIC. De ahí la importancia ya señalada de una ciencia del diseño que sea capaz de armonizar los intereses del bien común con los de la iniciativa privada.

Los primeros productos de la convergencia NBIC están entrando en hospitales públicos y en farmacias privadas, y están empezando a movilizar importantes recursos financieros. La naturaleza profunda de la nueva oleada tecnológica, su cercanía innata a problemas esenciales del hombre y de la vida en sociedad, el contenido de “bien superior” de lo que se contempla como líneas de productos significativos de las NBICs (tales como complementos de perfeccionamiento de facultades humanas, alargamiento de la vida, mejora de los procesos de aprendizaje, materiales que superan los límites impuestos por la naturaleza, memorias infinitas, etc.) hacen que sea indispensable, desde los planteamientos iniciales, una intensa interacción de todos los agentes del sistema social. El encuentro entre las fábricas del saber (las universidades, los centros de investigación), las empresas, y los poderes públicos apoyados por todos los estamentos participativos de la sociedad, implica fórmulas de “partenariados” responsables que todavía se encuentran en una etapa embrionaria de su desarrollo.

Es en este contexto que **se recomienda la construcción de plataformas tecnológicas**, tanto en el ámbito europeo (7º Programa Marco), como en ámbitos españoles o ibéricos, (Programas CENIT o similares), ibéricos o mediterráneos, sin olvidar la posible relación privilegiada con Iberoamérica donde multitud de empresas españolas ya han hecho un esfuerzo inversor considerable, con resultados bastantes positivos.

Estas plataformas deberían proporcionar al sistema de I+D+i español, un desarrollo investigador de vanguardia al amparo de una concentración de todos los intereses sociales implicados.

Es así como una plataforma tecnológica en torno a temas de salud, coherente con los caminos críticos del sector de las NBIC, debería incluir junto con empresas potencialmente interesa-

das (industria farmacéutica, industria de prótesis y de equipamientos médicos, empresas de las TICs), agentes del sistema público de sanidad, científicos universitarios y centros tecnológicos capacitados en ingeniería de la convergencia, así como especialistas de la mesoeconomía y de las ciencias sociales. Una plataforma de este tipo, a pesar de su complejidad y de la dificultad de su diseño, es un elemento indispensable para el éxito de la transformación NBIC.

Es evidente que en este campo, como en el pasado lo fue para la conquista espacial, las apuestas por grandes proyectos son indispensables si se quiere evitar que, en lugar de transformar positivamente los sistemas sociotécnicos, la innovación se limite a mejoras marginales de escasa relevancia social y económica.

La historia de las oleadas innovadoras tecnológicas incluye intensos periodos de difusión capilar en los sistemas productivos, pero siempre respaldados por proyectos vertebradores de ingentes dimensiones, lo que explica en parte el desplazamiento del centro de gravedad del progreso técnico a Estados Unidos en el siglo pasado.

La integración europea ofrece hoy la posibilidad de recuperar el apoyo de la gran dimensión, y esta es la idea que encierra el ambicioso reto de la “plataformas tecnológicas” europeas (EC, 2005<sup>a</sup>).

### IV.3 Sobre la estrategia de atracción, apropiación y aplicación del conocimiento científico-tecnológico

En España, como en el resto de Europa, las políticas públicas y las Universidades dedican un interés creciente al fomento de nuevas actividades empresariales que exploten los resultados de la investigación tecnológica. La experiencia inicial de las concentraciones de PYMES

tecnológicas en Estados Unidos (con el ejemplo paradigmático de Silicon Valley) ha impulsado la creación de grandes parques tecnológicos (por ejemplo el parque de Sophie Antipolis en el Sur de Francia, resultado de una gran iniciativa pública apoyada ulteriormente por las empresas privadas) o de zonas de desarrollo tecnológico más especializadas en el entorno de centros de investigación universitarios (por ejemplo en Cambridge o en Oxford).

Estas zonas más especializadas son las que hoy sustentan los mayores desarrollos de nuevas empresas (Start-ups) en los campos característicos de la convergencia NBIC. Es así como las tecnologías emergentes se desa-

#### Claves para la creación y desarrollo de start ups vinculados a la Nanotecnología

1. Mano de obra altamente cualificada
2. Cooperación con Universidades
3. Financiación privada (capital-riesgo)
4. Acceso a financiación pública
5. Protección del conocimiento a bajo costo
6. Acceso a grandes socios o clientes
7. Percepción clara de la incertidumbre sobre riesgos y aceptación pública
8. Ausencia de estándares (nano-estándares)
9. Apoyo a la capacidad empresarial

*\*En orden decreciente en importancia*

Fuente: European Nanotechnology Gateway (2005)

rollan en forma de un archipiélago difuso de pequeñas iniciativas con raíces muy locales, en general de carácter universitario. Abiertas sobre el mundo por los medios de telecomunicación, estas empresas tienen dimensiones productivas muy reducidas.

El desarrollo de PYMES tecnológicas es compatible con la idea de los grandes proyectos descrita en el apartado anterior.

Las estrategias de las grandes empresas necesariamente incluyen proyectos vinculados a la emergencia de las transformaciones que anuncia la convergencia tecnológica: es imposible pensar hoy el futuro de la industria farmacéutica sin tener en cuenta el potencial de la convergencia NBIC.

Pero al mismo tiempo, en un sistema en el que las alternativas se multiplican y en el que el conocimiento individual adquiere singularidad, es evidente que emergen infinidad de ideas y proyectos que necesitan una verificación de viabilidad que solo el contacto con el mercado puede facilitar. La viabilidad técnica no es una condición suficiente del éxito innovador; se impone el criterio fuerte de la viabilidad en producción.

Los proyectos productivos en base a las nuevas tecnologías requieren entornos favorables: disponibilidad de capital-riesgo, administración simple, servicios de apoyo, y, ante todo, espíritu de empresa.

La vinculación del espíritu investigador con el espíritu de empresa es difícil y bastante excepcional; como además las tecnologías NBIC están en fase de desarrollo con mercados inmediatos reducidos y difíciles de penetrar, la proliferación de start-ups se acompaña de tasas de mortalidad elevadas.

¿Puede pensarse que en todas partes, en proximidad de todas las universidades y centros de investigación avanzados, podrán desarrollarse start-ups con éxito suficiente para elevar el sistema investigador de una región al nivel puntero de las NBICs? La respuesta a esta pregunta genera muchas dudas y establece la necesidad de ampliar el entorno de “atracción” de las ideas de start-up. No existe razón a priori para que todas las start-ups que emanan de un entorno geográfico particular sean buenas, y tampoco existe una razón para que no se puedan atraer, apropiar y aplicar las mejores ideas disponibles en una región determinada si esta reúne características dinámicas capaces de maximizar las tasas de éxito de los proyectos.

En este contexto **se recomienda el desarrollo de una política activa de atracción a España de start-ups vinculados a la convergencia NBIC**, sea cual sea el entorno investigador en el que estos proyectos empresariales se hayan iniciado.

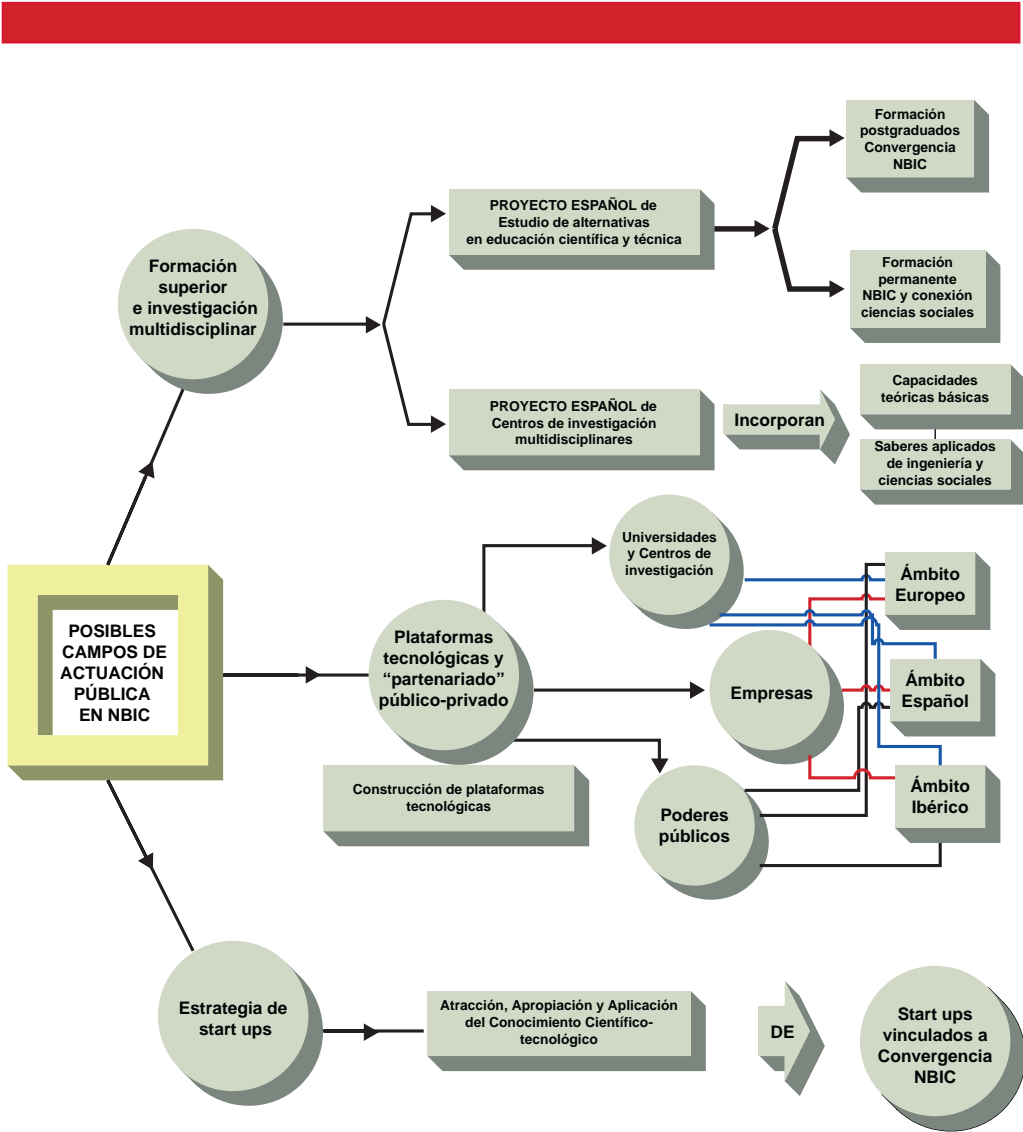
Las medidas de acompañamiento de dicha política permitirán, de forma colateral, crear el entorno adecuado para el establecimiento de start-ups de origen español vinculadas a Centros Tecnológicos, OPIS, y Universidades.

La endogamia que caracteriza el sistema universitario no está en ninguna manera justificada cuando se trata de explotar los resultados de la investigación. La emigración de proyectos

potencialmente innovadores de Europa a EEUU es una señal que obliga a ponerse en guardia contra cualquier intento de involución del sistema europeo; lo importante es atraer cerebros e ideas independientemente de su origen.

Con esta idea, el ofrecer en España una formación NBIC de prestigio (con la colaboración de centros y universidades del país, de Europa e internacional en general) atraería a científicos e ingenieros que podrían vincularse a proyectos de investigación y a start-ups, y contribuiría a la creación de un entorno de conocimientos atractivo también para empresas extranjeras. Dotar al sistema español de I+D+i de los medios y de la flexibilidad, de la capacidad proactiva y del capital riesgo necesarios para desarrollar una tarea de captación de ideas, proyectos y start-ups que potencien la capacidad empresarial en el ámbito de las tecnologías de la convergencia NBIC, es uno de los principales retos para el desarrollo de una política tecnológica competitiva.

CUADRO 7







## Referencias

**Aguiló J. et Al.** (2005), *Tecnologías Convergentes NBIC, Situación y Perspectiva 2005*, CBN-IBM, IIBB, IIIA, CSIC Barcelona

**Andler, D. with Dumitru, M.** (2005), *Cognitive Science*. European Commission. Directorate-General for Research. Mayo.

**Appelbaum E., Schettkat R.** (1997), *Are prices Unimportant?*, Economic Policy institute, Working Papers, Washington.

**AETIC** (2005) *Asociación de empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones de España, Las Tecnologías de la Información en España*. Julio.

**Baumol W.J.** (1967), *Macroeconomics of Unbalanced Growth; the Anatomy of the Urban Crisis*, *American Economic Review*, 57, 415-26.

**Baumol W.J., Batey Blackman S.A. & Wolff E.N.** (1985), *Unbalanced Growth Revisited; Asymptotic Stagnancy and New Evidence*, *American Economic Review*, Sep, 806-17

**Bruland, K. (ed.)** (1998), *Technological Revolutions in Europe, Historical Perspectives*, Edward Elgar, Cheltenham.

**Buesa, M.** (2005), *Ciencia y tecnología en la España democrática: la formación de un sistema nacional de innovación*, Documento de trabajo del IAIF, 39, Universidad Complutense de Madrid.

**Castells M., Himanen P.** (2002), *La sociedad de la información y el Estado del bienestar: el modelo finlandés*, Alianza, Madrid.

**Comisión de Seguimiento del Plan Nacional** (2005), *Informe 2005, Seguimiento y Evaluación Plan Nacional de I+D+I 2004-2007. Sistema Integral de Seguimiento y Evaluación*.

**Compañó, Ry Hullmann, A.** (2002), *Forecasting the development of nanotechnology with the help of science and technology indicators*. Institute of Physics Publishing. Abril.

**Comunidad de Madrid** (2005), *La Comunidad de Madrid Prospectiva 2015*. Dirección General de Economía. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Enero.

**COTEC** (2002), *Tendencias tecnológicas en Europa. Análisis de los procesos de prospectiva*, Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica, Madrid.

**COTEC** (2005), *Tecnología e Innovación en España, Informe COTEC 2005*, Madrid.

EC (1995), Enseigner et apprendre - Vers la Société cognitive. Livre blanc. Direction Générale Éducation, Formation et Jeunesse. Direction Générale Emploi, Relations Industrielles et Affaires Sociales. Luxembourg.

EC (2004), Converging Technologies, Shaping the Future of European Societies. New Technology Wave Expert Group.  
[http://europa.eu.int/comm./research/conferences/2004/ntw/pdf/final\\_report\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm./research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf)

EC (2005a), Technology Platforms, Status report, Directorate-General for Research, February.

EC (2005b), Creative System Disruption, Towards a Research Strategy Beyond Lisbon, Key Technologies Expert Group  
[http://www.cordis.lu/foresight/conference\\_2005.htm](http://www.cordis.lu/foresight/conference_2005.htm)

**European Nanotechnology Gateway** (2004), Outcome of the Open Consultation on the European Strategy for Nanotechnology. Nanoforum.org, Diciembre.

**FECyT, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología** (2003), Acción Piloto en Nanotecnologías. Acción Piloto NANOBIIC. Con la colaboración de INASMET, Instituto de Microelectrónica de Barcelona / Centro Nacional de Microelectrónica del CSIC, e Instituto de Ciencia de Materiales del CSIC / Madrid. Noviembre.

**Fontela E.** (2000), Perspectivas a largo plazo y Nueva Economía, Revista Valenciana d'Estudis Autonomics, Número Monográfico 31, 1-12.

**Freeman C.** (1996), The Long Wave in the World Economy, International Library of Critical Writings in Economics, Edward Elgar, Aldershot.

**Fundación Madri+d** (2005), Sanchez, J. "Nano: Nanotecnología en España. Comunidad de Madrid. Madrid.

**Fundación Phantoms** (2004), Estudios de las Actividades y Necesidades, en el Área de las Nanociencias/Nanotecnologías, para: 1) La Mejora de la Formación de Técnicos y 2) El Establecimiento del Mapa de Infraestructuras para el Periodo 2005-2010. Con la colaboración de la Red Nanospain, FECYT, Ministerio de Educación y Ciencia, Diciembre.

**Genoma España** (2005), La Biotecnología Española: Impacto Económico, evolución y Perspectivas. Fundación Española para el desarrollo de la Investigación en Genómica y Proteómica (Genoma España). Junio. <http://www.gen-es.org>

**Godet, M.** (2004), Manuel de Prospective stratégique 2. L'art et la méthode. Dunod, París.

**Jantsch E** (1967), Technological Forecasting in Perspective, OECD, Paris.

**Luxresearch** (2004), The Nanotech Report 2004™ Investment Overview and Market Research for Nanotechnology (Third Edition).

NSF, (2002), *Converging Technologies for Improving Human Performance*, National Science Foundation, <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/>

Pérez, C. (2002), *Technological Revolution and Financial Capital*, Edward Elgar.

Pérez-Díaz, V., Rodríguez J.C. (2005), *Desarrollo Tecnológico e Investigación Científica en España, Balance provisional de un esfuerzo insuficiente de catching-up*, Fundación Iberdrola, Madrid.

**Programa Ramón y Cajal** (2005), *Investigaciones de vanguardia en 24 áreas disciplinares*. Revista no 10.

Pulido A. & Fontela E. (2004), *Principios del desarrollo económico sostenible*, Fundación Iberdrola, Madrid.

Römer, P., (1990), *Endogenous Technological Change*, *Journal of Political Economy*, 98, 5, 2, 71-102

Serena, P., **Guest Editor** (2005), *International Journal of Nanotechnology: On nanotechnology in Spain*. Volume 2, special issue.

STFD (2005), *Canada Toward Understanding Science and Technology Convergence*, Office of the National Science Advisor, Government of Canada <http://www.eoi.es/programadesafios/>

Verspagen B. & Werker C. (2003), *The Invisible College of the Economics of Innovation and Technological Change*, *Estudios de Economía Aplicada*, 21, 3, 393-421.

Von Gizycki R. & Ulrici W. (1988), *The Brainworkers, Typology, Background and Work Situation*, A Report to the FAST-Programme, Oldenbourg Verlag, München.

## Referencias Complementarias en Internet

ABC Periódico Electrónico (2005), *Las universidades conjugan esfuerzos en Univest para rentabilizar el conocimiento*. Octubre. <http://www.madrimasd.org/informaciónIDI/noticias/noticia.asp?id=22864>

AEPIA (2005), *Asociación Española de Inteligencia Artificial*, en <http://aepia.dsic.upv.es/>

**Centro Nacional de Microelectrónica, Instituto de Microelectrónica de Madrid** (Enero 2003), *Propuesta de creación del Instituto de Nanotecnología y Diseño Molecular* [www.imm.cnm.csic.es](http://www.imm.cnm.csic.es) y [www.fpcm.es/documentos/folleto/InstitutoNanotecnologia.pdf](http://www.fpcm.es/documentos/folleto/InstitutoNanotecnologia.pdf)

**Científica** (2005), *Nanotubes for the Composites Market*. Julio. [www.cientifica.com](http://www.cientifica.com)

Compañó, R., Bock, A-K., Burgelman, J.C., Cabrera, M., Da Costa, O., Mattsson, P., Malanowski, N. (2005), Convergentechnologiesforactiveageing. European Commission. Joint Research Centre. October. <http://www.jrc.es>

**El Mundo Digital** (2005), Brillante futuro económico para la nanotecnología. <http://www.madrimasd.org/informaciónIDI/noticias/noticia.asp?id=21730>

**El País Digital** (2005), España es un 20% menos rica por la falta de inversión en I + D. Octubre. <http://www.madridmasd.org/informacionIDI/noticias/noticia.asp?id=22910>

**El País Digital** (2005), Se buscan 60.000 científicos. Octubre. <http://www.madrimasd.org/informaciónIDI/noticias/noticia.asp?id=22876>

**Esteban, M.** (2001) Memoria Científica 1999-2000. Centro Nacional de Biotecnología. <http://www.cnb.uam.es/es/memoria.html>

**Europa Press** (2005), El Congreso de Soberanía Tecnológica propondrá a los gobiernos europeos actuaciones en seguridad. Octubre. <http://www.finanzas.com/noticias/imprimir.asp?id=8699614>

**Foresight.org**, (2005), First DNA “motors” self-assembled by Lucent/Oxford <http://www.foresight.org/nanodot/?p=143>

**FECyT, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología** (2004), SNT3. Spain NanoTechnology Think Tank., Parque Científico de Madrid, Parc Científic de Barcelona. Diciembre. <http://www.fecyt.es>

**Fundación Phantoms** (2005), Trends in Nanotechnology (TNT2005) . Oviedo Agosto-septiembre. <http://www.phantomsnet.net>

**Genoma España** (2005), European Nanotechnology Infrastructure and Networks. Julio. <http://www.gen-es.org>

**Genoma España y Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI)** (2004), Impacto de la Biotecnología en el Sector Sanitario. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo. <http://www.opti.org>

**Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid** (2005), Memoria de Actividades 2004. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). <http://www.icmm.csic.es>

**La Vanguardia Digital** (2005), El despegue de la nanotecnología. Mayo. <http://www.madrimasd.org/informaciónIDI/noticias/noticia.asp?id=20567>

**Malsch, I.** (2005), Commercialising Nanotechnology in Europe. Nanoforum.org, European Nanotechnology Gateway. Saarbrücken (Germany) September. <http://www.nanoforum.org>

**Ministerio de Educación y Ciencia** (2004), Plan Nacional I+D+I 2004-2007.  
[http://www.mec.es/ciencia/plan\\_idi/files/Plan\\_Nacional\\_Vol\\_II.pdf](http://www.mec.es/ciencia/plan_idi/files/Plan_Nacional_Vol_II.pdf)

**National High Magnetic Field Laboratory** (2005), Test World Record Magnet.  
<http://www.azom.com/news.asp?newsID=2932>

**Night's Nanotechnology Links** (1999), The Nanotechnology Laser Atom Projector (developed for electronic manufacturing).  
<http://hashev.tripod.com/nanotech.html>

**Plaza, José A.** (2005), EbiointelyNoraybiosealíanparalanzarunaplataformabioinformática de genotipado. Bionoticias. Octubre.  
<http://www.madridmasd.org/informacionIDI/noticias/noticia.asp?id=22868>

**Pollack, A.** (2000), Researchers Harness DNA for Tiny Motors That Could Widen Use of Genetic Code. Agosto.  
<http://www.nytimes.com/library/tech/00/08/biztech/articles/10dna.html>

**Sánchez, J. y Equipo del CIMN (INTA)** (2005), Nanotecnología en España. IV PRICIT 2005-2006, Plan Regional de Ciencia y Tecnología de la Comunidad de Madrid. Consejería de Educación. Dirección General de Universidades e Investigación. <http://www.madridmasd.org>



## Anexo 1

# Análisis Estructural

### Metodología

Para el análisis estructural se ha utilizado el software “MICMAC” (Godet, 2004), que permite identificar las variables más influyentes o “explicativas”; las más dependientes o “resultado”; las variables llamadas “centrales”; y las variables “excluidas” que no son significativas ni por su influencia ni por su dependencia. Se realiza a través de una tipología de variables que incluye las comparaciones dos a dos de las variables valoradas en una escala de 0 a 3 (0=sin influencia; 1=influencia baja; 2=influencia media; 3= influencia alta) y la construcción, a partir de ahí, de una matriz de influencias directas. Para ello se realizaron (63x63=3969) valoraciones entre pares de variables Nano, (49x49=2401) valoraciones entre pares de variables Bio, y (40x40=1600) entre pares de variables Cogno.

Con el fin de analizar la evolución del subsistema, se desarrolla un determinado número de iteraciones con elevación a la potencia de la matriz de influencias directas, obteniéndose así la estabilidad del proceso con la matriz de influencias indirectas como resultado.

No se pretende aquí, con el presente ejercicio de análisis estructural, describir con precisión el funcionamiento de cada subsistema, sino más bien evidenciar a grandes rasgos su estructura. Sería recomendable en el futuro, y con el fin de optimizar el presente ejercicio, desarrollarlo de nuevo integrando opiniones variadas de expertos y contrastar los resultados que se obtengan.





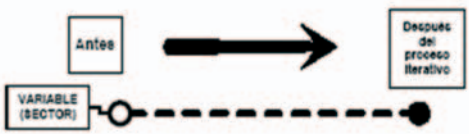
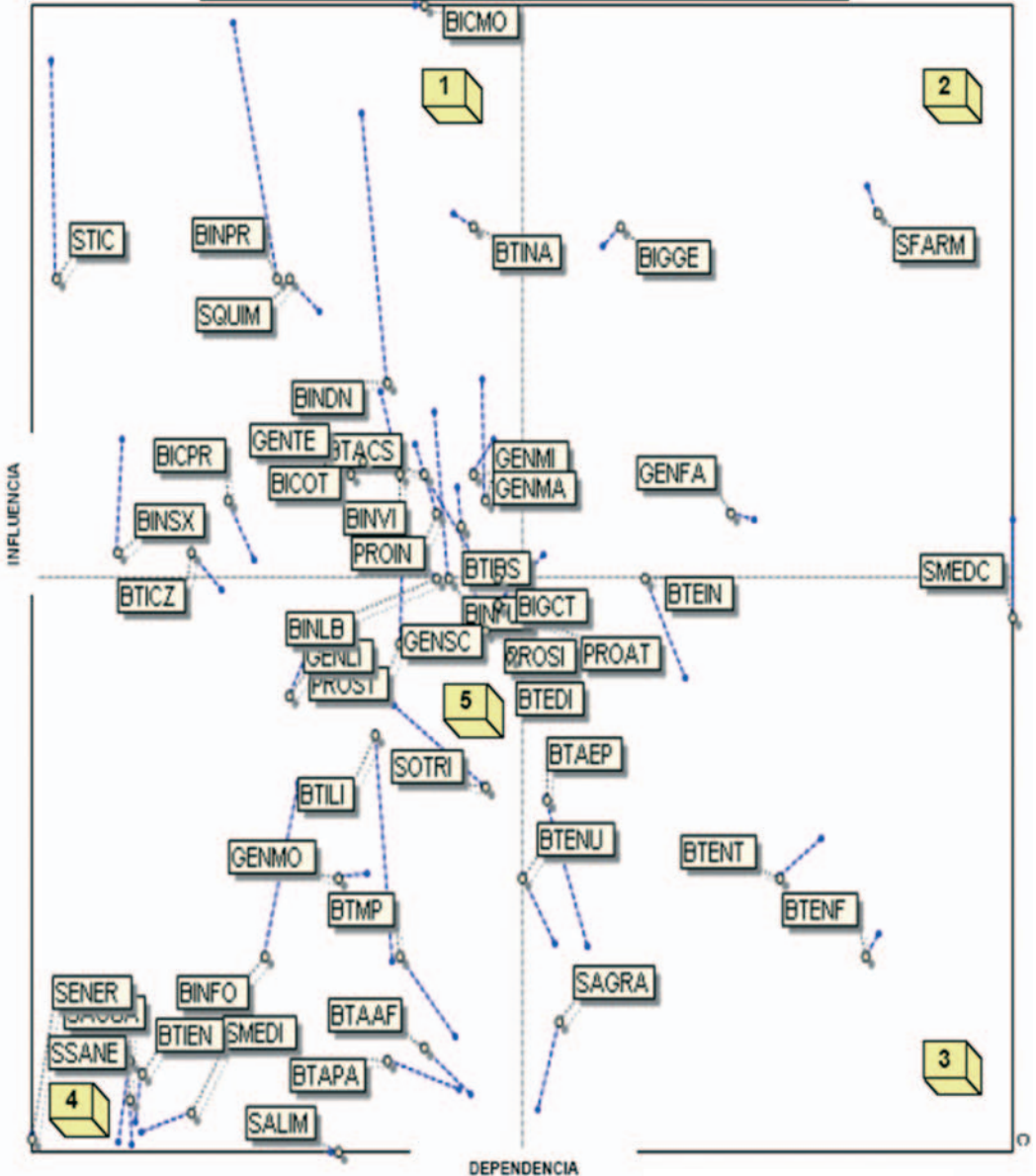
**TABLA A.1.2**

<b>NANO</b>	
<b>Listado de variables</b>	
1.	Técnicas y equipo patterning (Htep)
2.	Procesamiento y producción de polvo (Hppp)
3.	Metrología (Hmet)
4.	Métodos de rayo (Hmtra)
5.	Reactores CVD (HCVD)
6.	Mnipulador Zybot & sist. Montaje Rotapod (HZyb)
7.	Laser y sistemas hoográficos (Hlas)
8.	Maquinarias ultraprecisión (Hmul)
9.	Microscopía electrónica (Hmicel)
10.	Laboratorio de bajas temperaturas (Hlabbt)
11.	Laboratorio de Fuerzas y tunel (Hlabft)
12.	Laboratorio de alto campo magnético (Hlabcm)
13.	Farmacia y nanotecnología farmacéutica (Ffarm)
14.	Biomateriales y nanopartículas (Mbiona)
15.	Nanotubos monocapas (Mnanom)
16.	Nanotubos multicapas (Mnanomu)
17.	Nanotubos nanocables y fulleres (Mnanocf)
18.	Nanopolvos metal y cerámica (Mnanopm)
19.	Nanominerales y resinas de plástico (Mnanorp)
20.	Materiales compuestos aplicaciones nanoestructurales (Mmcom)
21.	Materiales, productos y fibras polímeras (Mmfpol)
22.	Polímeros y tejidos inteligentes (Mpoliti)
23.	Membranas y filtrado (Mmembf)
24.	Depósito capas ultrafinas y atómicas (Multra)
25.	Materiales Nano-Bio (Mnabio)
26.	Materiales moleculares y supramoleculares (Mmosu)
27.	Materiales particulados (Mpartic)
28.	Materiales biomiméticos (Mbiomi)
29.	Baterías de litio y nanodieléctricos (Mbatlit)
30.	Materiales nanocompuestos para carburante nuclear avanzado (Mcnuci)
31.	Nanotecnología física de bajas temperaturas (Tfbt)
32.	Nanotecnología química y electroquímica (Tquel)
33.	Nano-bio tecnología aplicaciones médicas (Tnbiome)
34.	Nanotecnología para TICs (Tnatics)
35.	Nanotecnologías luz e imagen (Tnluz)
36.	Nanomanufactura "bottom up" (Tnbotup)
37.	Nanodispositivos (Tndisp)
38.	Nanomagnetismo (Tnmag)
39.	Microtecnología (Tmic)
40.	Nanotecnología de surfactantes (Tsurf)
41.	Ciencia de Materiales (Ccimat)
42.	Biosistemas nanoescala (Cbiosis)
43.	Física teórica, cuántica atómica, molecular, nuclear, de superficies y de la materia condensada y sistemas mesoscópicos (Cfis)
44.	Interfaz moléculas orgánico/biológico (Cinterf)
45.	Dispositivos moleculares (Cdispmo)
46.	Nanoética (Enetic)
47.	Patentes (Ppat)
48.	QUIMICA (SQUIMICA)
49.	ENERGÍA (SENERGIA)
50.	ENERGIAS RENOVABLES (SENERGRE)
51.	TICs (STICs)
52.	MEDICINA (SMEDICINA)
53.	ALIMENTACIÓN (SALIMENT)
54.	AGUA (SAGUA)
55.	MEDIO AMBIENTE (SMEDAMB)
56.	AGRICULTURA Y GANADERÍA (SAGRALIM)
57.	OTRAS INDUSTRIAS (SOTRIND)
58.	PLÁSTICOS Y POLÍMEROS (SPLASTPOL)
59.	FARMACEÚTICA (SFARMA)
60.	TEXTIL (STEXTIL)
61.	METALÚRGICA (SMETAL)
62.	ELECTRÓNICA (SELECTRON)
63.	LUZ ÓPTICA E IMAGEN (SLUZOPT)

TABLA A.1.3

BIO

Grado de influencia o dependencia de las variables



1. Variables explicativas
2. Variables enlace
3. Variables resultado
4. Variables excluidas
5. Variables del "pelotón"

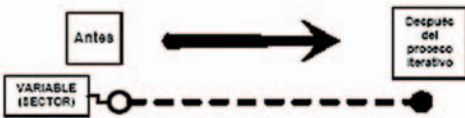
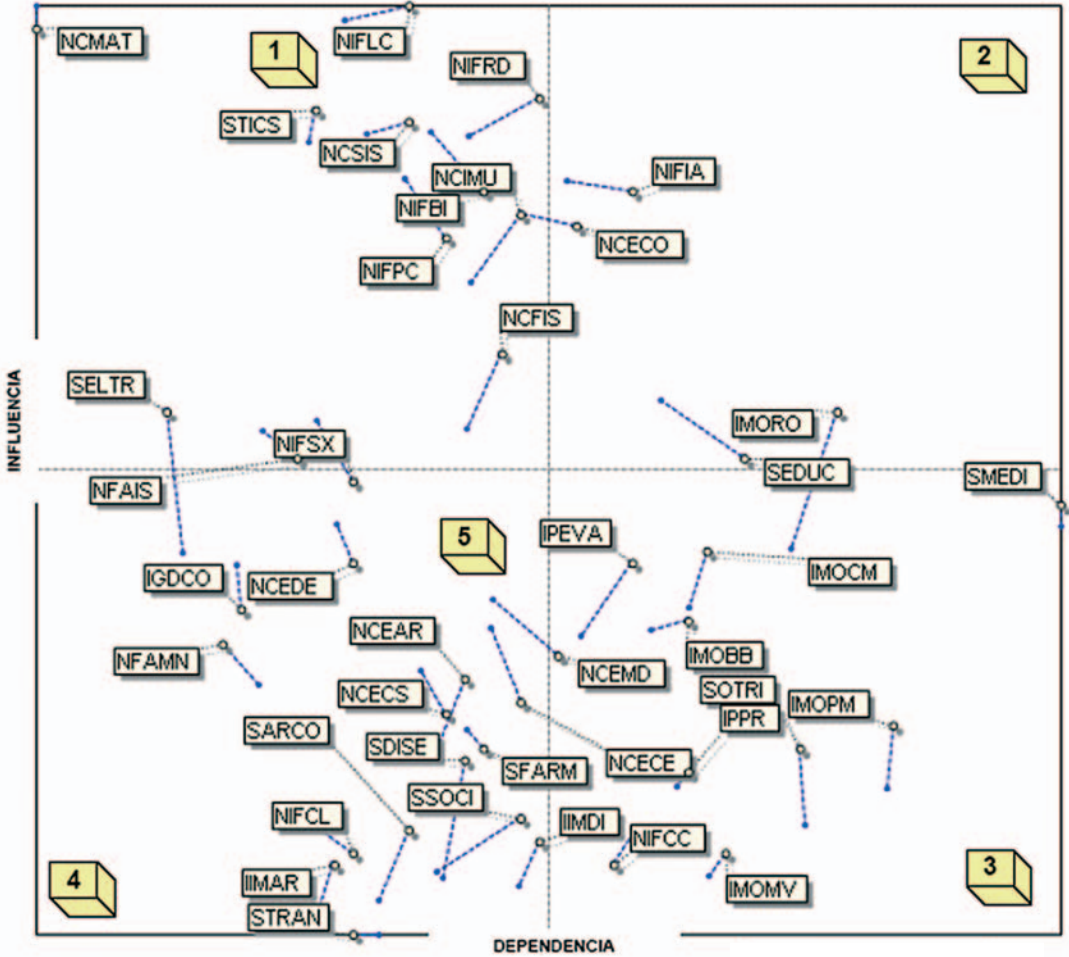
**TABLA A.1.4**

<b>BIO</b>	
<b>Listado de variables</b>	
1.	Alimentación para el futuro (BTAAF)
2.	Sistemas y técnicas de producción animal (BTAPA)
3.	Cultivo y mejora de la producción (BTMP)
4.	Detección y diagnóstico de enfermedades y plagas (BTAEP)
5.	Calidad y seguridad (BTACS)
6.	Biomanufactura y nanoprocesamientos (BTINA)
7.	Biosensores para diagnóstico (BTIBS)
8.	Productos biotecnológicos limpios (BTILI)
9.	Bioenergía (BTIEN)
10.	Biocatalizadores (BTICZ)
11.	Ingeniería de células y tisular (BIGCT)
12.	Ingeniería genética (BIGGE)
13.	Nutraceuticos (BTENU)
14.	Sistemas de diagnóstico (BTEDI)
15.	Nuevas terapias (BTENT)
16.	Nuevos fármacos (BTENF)
17.	Inmunotecnología (BTEIN)
18.	Secuenciación (GENSC)
19.	Genoma (GENMA)
20.	Farmacogenómica (GENFA)
21.	Microarrays y biochips de DNA y proteínas (GENMI)
22.	Modelos animales transgénicos y humanizados (GENMO)
23.	Líneas celulares (GENLI)
24.	Técnicas moleculares y celulares tradicionales (GENTE)
25.	Análisis masivo interacción proteína-proteína (PROIN)
26.	Separación identif. proteínas (PROSI)
27.	Predic. Establ. Estruct. Terciaria proteínas (PROST)
28.	Desarrollo de proteínas y anticuerpos monoclonales terapéuticos (PROAT)
29.	Bioinformática funcionalidad proteínas (BINPR)
30.	Proteínas fotoactivas para bioinformática (BINFO)
31.	DNA computacional (BINDN)
32.	Lab on a chip (BINLB)
33.	Predicción actividad y funcionalidad de proteínas (BINFU)
34.	Laboratorios virtuales de investigación (BINVI)
35.	Sistemas expertos informáticos apoyo al diagnóstico clínico (BINSX)
36.	Bioprospección (BICPR)
37.	Biología molecular (BICMO)
38.	Otras biociencias (BICOT)
39.	Agricultura y ganadería (SAGRA)
40.	Alimentación (SALIM)
41.	Químico (SQUIM)
42.	Agua (SAGUA)
43.	Medio Ambiente (SMEDI)
44.	Energía (SENER)
45.	Saneamiento (SSANE)
46.	Medicina (SMEDC)
47.	Farmacia (SFARM)
48.	Tecnología de la Información y de las Comunicaciones (STIC)
49.	Otras industrias (SOTRI)

TABLA A.1.5

**COGNO**

**Grado de influencia o dependencia de las variables**



- 1. Variables explicativas
- 2. Variables enlace
- 3. Variables resultado
- 4. Variables excluidas
- 5. Variables del "pelotón"

**TABLA A.1.6**

<b>COGNO</b>	
<b>Listado de variables</b>	
1.	Prótesis perceptivas neuronales (IPPR)
2.	Visión artificial (IPEVA)
3.	Diseños para la industria, arquitectura (IIMDI)
4.	Aplicaciones al arte y al cine (IIMAR)
5.	Interfaz entre cerebro y máquina. Periférico o neural (IMOCM)
6.	Robótica (IMORO)
7.	Biobots imitación redes neuronales (IMOBBI)
8.	Prótesis motoras (IMOPM)
9.	Máquinas para manejo de vehículos (IMOMV)
10.	Genética y desarrollo cognitivo (IGDCO)
11.	Neurociencia de sistemas (NCSIS)
12.	Fisiología de procesos cognitivos (NCFIS)
13.	Ciencias y estudios cognitivos (NCECO)
14.	Memoria, desarrollo y disfunciones (NCEMD)
15.	Desarrollo emocional (NCEDE)
16.	Adquisición y regulación de competencia social (NCECS)
17.	Adquisición de comunicación en escuela (NCECE)
18.	Desarrollo conocimiento actividades artísticas y percepciones (NCEAR)
19.	Interfaces multimodales (NCIMU)
20.	Matemáticas y neurociencia cognitiva (NCMAT)
21.	Medicamentos que actúan sobre neuronas (NFAMN)
22.	Estrategias de integración de subsistemas cerebrales (NFAIS)
23.	Sist.expertos inform. Para diagnóstico clínico (NIFSX)
24.	Bioinformática-Cogno y cibernética biológica (NIFBI)
25.	Psicofísica cognitiva y computacional (NIFPC)
26.	Inteligencia artificial (NIFIA)
27.	Lógica lenguaje y computación (NIFLC)
28.	Simplificación y síntesis de códigos legales (NIFCL)
29.	Razonamiento y decisiones (NIFRD)
30.	Cirujía ayudada por computador (NIFCC)
31.	Medicina (SMEDI)
32.	Farmacéutica (SFARM)
33.	Electrónica (SELTR)
34.	TICs (STICS)
35.	Otras industrias (SOTRI)
36.	Transporte (STRAN)
37.	Diseño (SDISE)
38.	Educación (SEDUC)
39.	Socioeconomía (SSOCI)
40.	Arte, cine y ocio (SARCO)



## Anexo 2

# Inventario de instituciones españolas vinculadas a la convergencia NBIC

**TABLA A.2.1**

### Principales Fuentes de Datos sobre NBIC

AEC Asociación Española de Científicos  
[www.aecientificos.es/](http://www.aecientificos.es/)

AETIC es la Asociación de Empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones de España  
[www.aniel.es](http://www.aniel.es)

AHCIET es la Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones  
[www.ahciet.net](http://www.ahciet.net)

ASEBIO Asociación Española de Bioempresas  
[www.asebio.com](http://www.asebio.com)

Asociación Parques Tecnológicos  
[www.apte.org](http://www.apte.org)

CESEAND, Centro de Enlace para la Innovación del Sur de Europa - Andalucía  
[www.ceseand.cica.es](http://www.ceseand.cica.es)

CDTI Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial  
[www.cdti.es/webCDTI/esp/index.html](http://www.cdti.es/webCDTI/esp/index.html)



CINDOC Centro de Información y Documentación Científica  
[www.cindoc.csic.es](http://www.cindoc.csic.es)

CLM Innovación I+d+i (Castilla-la Mancha)  
[www.clminnovacion.com](http://www.clminnovacion.com)

COTEC Fundación para el Fomento de la Innovación Tecnológica en la Empresa  
y en la Sociedad Españolas  
[www.cotec.es](http://www.cotec.es)

CSIC Consejo Superior Investigaciones Científicas  
[www.csic.es](http://www.csic.es)

Euroresidente Portal europeo en España  
[www.euroresidentes.com](http://www.euroresidentes.com)

FECYT Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología  
[www.fecyt.es](http://www.fecyt.es)

La Sociedad de la Información en el siglo XXI: un requisito para el desarrollo (Ministerio Industria, Turismo y Comercio)  
[www.desarrollosi.org/](http://www.desarrollosi.org/)

Laboratorios de investigación en España / Listado:  
[www.e-informa.com/empresas/Actividad-inmobiliaria-y-de-alquiler--servicio-empresarial/CNAE-7300-INVESTIGACION-Y-DESARROLLO.html](http://www.e-informa.com/empresas/Actividad-inmobiliaria-y-de-alquiler--servicio-empresarial/CNAE-7300-INVESTIGACION-Y-DESARROLLO.html)

Labein Centro Tecnológico (privado)  
[www.labein.es](http://www.labein.es)

Madrid I+D:  
[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

MEC Ministerio de Educación y Ciencia  
[www.mec.es/ciencia](http://www.mec.es/ciencia)

Nanospain  
[www.nanospain.org](http://www.nanospain.org)

Nanostructured and funcional polymer-based material and nanocomposites  
[www.nanofun-poly.net](http://www.nanofun-poly.net)

Nanovip the leading nanotechnology business directory  
[www.nanovip.com](http://www.nanovip.com)

PROFIT Programa de Fomento de la Investigación Tecnológica  
[www.tecnociencia.es/especiales/profit/3.htm](http://www.tecnociencia.es/especiales/profit/3.htm)

Raitec, Red andaluza de Innovación y Tecnología  
[www.raitec.org](http://www.raitec.org)

Red IRIS red académica y de investigación nacional  
[www.rediris.es](http://www.rediris.es)

RETICs Redes temáticas Investigación Cooperativa Sanitaria

[www.retics.net/](http://www.retics.net/)

Revista La Salud. PORTAL de SALUD

[www.lasalud.com/default.htm](http://www.lasalud.com/default.htm)

Revista neurología. Ed. Viguera

[www.revneurol.com/](http://www.revneurol.com/)

Sociedad de la Información en el siglo XXI. Un requisito para el desarrollo. (Ministerio Industria Turismo y Comercio)

[www.desarrollosi.org](http://www.desarrollosi.org)

TECNOCENCIA, el Portal español de la Ciencia y la Tecnología

[www.tecnociencia.es](http://www.tecnociencia.es)

Vodafone Fundación

[www.vodafone.es/FundacionVodafone](http://www.vodafone.es/FundacionVodafone)

**TABLA A.2.2**

## Instituciones Españolas Activas en Nanotecnología

### CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS-CSIC

Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa" (CBM)  
 Centro de Investigaciones Biológicas (CIB)  
 Centro Mixto CSIC-Universidad Autónoma de Barcelona  
 Centro Mixto CSIC-Universidad Autónoma de Madrid  
 Centro Nacional de Biotecnología (CNB)  
 Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)  
 Estación Experimental del Zaidín  
 Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos (IATA)  
 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Centro Mixto CSIC - Universidad de Granada)  
 Instituto de Acústica  
 Instituto de Automática Industrial (IAI)  
 Instituto de Biología Molecular de Barcelona  
 Instituto de Biotecnología de Granada  
 Instituto de Carboquímica  
 Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP)  
 Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV)  
 Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA)(Centro Mixto CSIC-Universidad de Zaragoza)  
 Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMB)  
 Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM)  
 Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (Centro Mixto CSIC- Universidad de Sevilla)  
 Instituto de Ciencia de Materiales del País Vasco(Centro Mixto CSIC-Universidad del País Vasco)  
 Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros  
 Instituto de Ciencias de la Construcción "EduardoTorroja" (ICCET)  
 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaime Almera  
 Instituto de Estructura de la Materia  
 Instituto de Física Aplicada (IFA)  
 Instituto de Física de Cantabria (Sin Especificar)  
 Instituto de Física del Estado Sólido  
 Instituto de Física Fundamental (Sin Especificar)  
 Instituto de Investigaciones Biomédicas August Pi y Sunyer  
 Instituto de la Grasa  
 Instituto de Investigaciones Biomédicas "Alberto Sols"  
 Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona (IIQAB)  
 Instituto de Magnetismo Aplicado "Salvador Velayos" (Centro mixto UPM - CSIC)  
 Instituto de Matemáticas y Física Fundamental  
 Centro Nacional de Microelectrónica  
 Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB)  
 Centro Nacional de Microelectrónica (CNM)  
 Instituto de Microelectrónica de Madrid (IMM) Centro Nacional de Microelectrónica (CNM)  
 Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMES)  
 Centro Nacional de Microelectrónica (CNM)  
 Instituto de Neurobiología "Ramón y Cajal"  
 Instituto de Óptica "Daza De Valdés"  
 Instituto de Química Física Rocasolano (IQFR)  
 Instituto de Química Médica (IQM)  
 Instituto de Química Orgánica General (IQOG)

Instituto de Tecnología Química (Centro Mixto CSIC-Universidad Politécnica de Valencia)  
Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA)(Centro Mixto CSIC-Universidad de las Islas Baleares)  
Instituto Nacional del Carbón  
Instituto Universitario de Bioorgánica (Centro Mixto CSIC- Universidad de La Laguna)  
Laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología  
Instituto de Astrofísica de Canarias  
Instituto Químico Sarria

**CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS,  
MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS - CIEMAT**  
CIEMAT

**INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AEROESPACIAL - INTA**

Subdirección General MINISTERIO DE DEFENSA - MDE de Investigación y Programas

- Círculo de Innovación en Microsistemas y nanotecnología
- Ciencias del Espacio y Tecnologías Electrónicas (Área de Cargas Útiles e Instrumentación)
- Ciencias del Espacio
- Instrumentación Espacial
- Laboratorio de integración, procesos y montaje de sistemas electrónicos
- Laboratorio de Optoelectrónica

**DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL DEGAM**

Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada (CIDA)

**MINISTERIO DE FOMENTO - MF**

Centro Español de Metrología (CEM)

**CONSEJERÍAS DE SANIDAD**

Hospital de Bellvitge  
Hospital Clínico San Carlos  
Hospital de la Princesa de Madrid-Insalud  
Hospital Materno Infantil de Hebrón

**UNIVERSIDADES**

Princeton University  
Universidad Autónoma de Barcelona  
Universidad Autónoma de Madrid (UAM)  
Universidad Carlos III (UC3)  
Universidad Católica de Ávila  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
Universidad de Alcalá de Henares (UAH)  
Universidad de Alicante  
Universidad de Almería  
Universidad de Barcelona  
Universidad de Burgos  
Universidad de Cádiz  
Universidad de Cantabria  
Universidad de Castilla La Mancha  
Universidad de Córdoba  
Universidad de Extremadura  
Universidad de Gerona  
Universidad de Granada

Universidad de Jaén  
Universidad de La Coruña  
Universidad de La Laguna  
Universidad de las Islas Baleares  
Universidad de Las Palmas  
Universidad de Lleida  
Universidad de Madrid  
Universidad de Málaga  
Universidad de Murcia  
Universidad de Navarra  
Universidad de Oviedo  
Universidad de Salamanca  
Universidad de Santiago de Compostela  
Universidad de Sevilla  
Universidad de Valencia  
Universidad de Valladolid  
Universidad de Vigo  
Universidad de Zaragoza  
Universidad del País Vasco  
Universidad Jaime I  
Universidad Miguel Hernández  
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)  
Universidad Pablo de Olavide  
Universidad Politécnica de Barcelona  
Universidad Politécnica de Cartagena  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
Universidad Politécnica de Valencia  
Universidad Pompeu Fabra  
Universidad Pontificia Comillas de Madrid  
Universidad Pública de Navarra  
Universidad Ramón Llull  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)  
Universidad Rovira i Virgili  
Universidad San Pablo CEU

Instituto de Prospectiva Tecnológica de Sevilla Unión Europea.  
Villafranca Satellite-ISO - Centro Tracking Station de Operaciones Científicas - (ESA)  
Asociación de la Industria de Navarra (AIN)  
Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Guipúzcoa (CEIT)  
Centro de Tecnologías Electroquímicas (CIDETEC)  
CMP-Científica  
DGT  
Fundación Phantoms  
"Madrid Scientific Park"

Fuente: Fundación Madri+d, Jaime Sánchez, "Nano: Nanotecnología en España".  
Informe elaborado para el proyecto Nanomat del 6º Programa Marco.  
En colaboración con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).  
Dirección General de Universidades e Investigación, Consejería de Educación,  
Comunidad de Madrid. Madrid. Comisión Europea. 2005.

**TABLA A.2.3**

Nanotecnología	
Empresa/Centro Tecnológico/Fundación/Asociación	Página WEB
ACABADOS SALINAS S.A.	---
ACEFE	<a href="http://www.acefesa.es">www.acefesa.es</a>
ACTEL SCL	<a href="http://www.actel.es">www.actel.es</a>
ACTIVERY BIOTECH S.L.	<a href="http://www.activery.com">www.activery.com</a>
ADVANCELL	<a href="http://www.advancell.net">www.advancell.net</a>
ADVANTA IBÉRICA S.A.	<a href="http://www.advantaiberica.com">www.advantaiberica.com</a>
AEDHE Asociación de Empresarios del Henares	<a href="http://www.aedhe.es">www.aedhe.es</a>
AEM S.A.(Valencia)	<a href="http://www.aemsa.es">www.aemsa.es</a>
AFARMADE Asociación Española de Fabricantes de Armamento y Material de Defensa y Seguridad	<a href="http://www.afarmade.es">www.afarmade.es</a>
AFFORD	---
AGUAS MUNICIPALES DE VITORIA S.A.	---
AIDICO Instituto Tecnológico de la Construcción	<a href="http://www.aidico.es">www.aidico.es</a>
AIDIMA Asociación de Investigación y Desarrollo en la Industria del Mueble y afines	<a href="http://www.aidima.es">www.aidima.es</a>
AIDO Asociación industrial de óptica, color e imagen	<a href="http://www.aido.es">www.aido.es</a>
AIMME Instituto Tecnológico Metalmecánico	<a href="http://www-aimme.es">www-aimme.es</a>
AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico	<a href="http://www.aimplas.es">www.aimplas.es</a>
AIN Asociación de la industria Navarra	<a href="http://www.ain.es">www.ain.es</a>
AIRBUS ESPAÑA	<a href="http://www.airbus.com">www.airbus.com</a>
AISLAMIENTOS ISOVER Cristalería Española S.A.	<a href="http://www.isover.net">www.isover.net</a>
AITEX Instituto tecnológico textil	<a href="http://www.aitex.es">www.aitex.es</a>
ALICER Asociación para la promoción del diseño industrial cerámico	<a href="http://www.alicer.es">www.alicer.es</a>
AMCOR FLEXIBLE	<a href="http://www.amcorhispania.com">www.amcorhispania.com</a>
HISPANIA S.A. ANTIBIÓTICOS S.A.	<a href="http://www.antibioticos.it">www.antibioticos.it</a>
ANTOLÍN-Grupo	<a href="http://www.grupoantolin.es">www.grupoantolin.es</a>
ARIES COMPLEX	<a href="http://www.ariesc.com">www.ariesc.com</a>
ARGO	<a href="http://www.argo.es">www.argo.es</a>
ASCAMM Asociación catalana de empresas de moldes y matrices	<a href="http://www.ascamm.com">www.ascamm.com</a>
ASINTEC Centro Tecnológico de Confección	<a href="http://www.asintec.org">www.asintec.org</a>
ATECMA Asociación Española de Constructores de Material Aeroespacial	<a href="http://www.atecma.org">www.atecma.org</a>
ATIPIC Anàlisi Tecnologia Innovadora Per A Processos Industrials Competitius	<a href="http://www.atipic.es">www.atipic.es</a>
AVANZARE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA S.L.	<a href="http://www.avanzare.es">www.avanzare.es</a>
AZKOYEN S.A.	<a href="http://www.azkoyen.com">www.azkoyen.com</a>
AZTI, Fundación	<a href="http://www.azti.es">www.azti.es</a>
BAIE Barcelona Aeronautics and Space Association	<a href="http://www.bcnaerospace.org">www.bcnaerospace.org</a>
BESEL S.A.	<a href="http://www.besel.es">www.besel.es</a>
BIONOSTRA	<a href="http://www.bionostra.net">www.bionostra.net</a>
BIOSENSORES S.L.	<a href="http://www.biosensores.com">www.biosensores.com</a>
BIOTOOLS B&M LABS S.A.	<a href="http://www.biotoools.net">www.biotoools.net</a>
BOSCH-GIMPERA-Fundación	<a href="http://www.fbg.ub.es">www.fbg.ub.es</a>

BP Energía	<a href="http://www.bpenergia.com">www.bpenergia.com</a>
BP SOLAR	<a href="http://www.bpsolar.es">www.bpsolar.es</a>
BRUGAROLAS	<a href="http://www.brugarolas.com">www.brugarolas.com</a>
CAMPBELL SCIENTIFIC SPAIN S.L.	<a href="http://www.campbellsci.co.uk/es/index.htm">www.campbellsci.co.uk/es/index.htm</a>
CARBUROS METÁLICOS S.A.	<a href="http://www.carburos.com">www.carburos.com</a>
CARRERA	---
CASA ESPACIO-EADS	<a href="http://www.eads.net">www.eads.net</a>
CDTI Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial	<a href="http://www.cdti.es">www.cdti.es</a>
CEIT Centro de Estudios e Investigaciones técnicas de Guipúzcoa	<a href="http://www.ceit.es/index.htm">www.ceit.es/index.htm</a>
CENTEC INGENIEROS S.L.	---
CENTRO EUROPEO DE EMPRESAS E INNOVACIÓN DE ALBACETE	<a href="http://www.ceeialbacete.com">www.ceeialbacete.com</a>
CENTRO EUROPEO DE EMPRESAS E INNOVACIÓN DE BURGOS	<a href="http://www.ceeiburgos.es">www.ceeiburgos.es</a>
CENTRO EUROPEO DE EMPRESAS INNOVADORES DE VALENCIA	<a href="http://www.ceei.net">www.ceei.net</a>
CENTRO TECNOLÓGICO DE COMPONENTES-Fundación	<a href="http://www.ctcomponentes.com">www.ctcomponentes.com</a>
CEPSA Compañía Española de Petróleos S.A.	<a href="http://www.cepasa.es">www.cepasa.es</a>
CERÁMICA INDUSTRIAL MONTGATINA	<a href="http://www.cim-montgatina.com">www.cim-montgatina.com</a>
CERÁMICAS VICENTE LERMA	<a href="http://www.avec.com/lerma">www.avec.com/lerma</a>
CERMAE Catalunya Centre de Referència en Materials Avançats per al'Energia	---
CIDAUT Centro de Investigación y desarrollo en Automoción	<a href="http://www.cidaut.es">www.cidaut.es</a>
CIDEM-PCB. Bio Incubadora Parque Tecnológico de Barcelona	<a href="http://www.pcb.ub.es">www.pcb.ub.es</a>
CIDETE INGENIEROS S.L.	<a href="http://www.arrakis.es/~cidete">www.arrakis.es/~cidete</a>
CIDETEC-Fundación	<a href="http://www.cidetec.es">www.cidetec.es</a>
CIMENTACIONES OBRAS Y ESTRUCTURAS S.A.	---
CIPASI Cía Ibérica de Panales Sintéticos	<a href="http://www.cipasies.es">www.cipasies.es</a>
CIRTA Centro De Investigación De Rotación y Torque Aplicada, S.L.	---
CMP CIENTÍFICA S.L.	<a href="http://www.cmp-cientifica.com">www.cmp-cientifica.com</a>
CODESA Construcciones y Depuraciones	<a href="http://www.codesa.com">www.codesa.com</a>
COGNIS IBERIA	<a href="http://www.cognis.com">www.cognis.com</a>
COGNIVISION RESEARCH	<a href="http://www.cognivision.net">www.cognivision.net</a>
COLORES HISPANIA S.A.(actualmente Nubiola Inorganic Pigments)	<a href="http://www.nubiola.com">www.nubiola.com</a>
CONSTRUCCIONES MECÁNICAS MARES S.A.	<a href="http://www.cm-mares.es">www.cm-mares.es</a>
COPRECI S. COOP.	<a href="http://www.copreci.com">www.copreci.com</a>
CORPORACIÓ SANITARIA CLINIC	---
COSMOQUÍMICA S.A.	<a href="http://www.cosmoquimica.com">www.cosmoquimica.com</a>
CPT Corporació Parc Taulí	<a href="http://www.cspt.es">www.cspt.es</a>
DAYFISA	<a href="http://www.dayfisa.com">www.dayfisa.com</a>
DEIMOS SPACE S.L.	<a href="http://www.deimos-space.com">www.deimos-space.com</a>
EINSA	<a href="http://www.einsa.es">www.einsa.es</a>
ELIOP S.A.	<a href="http://www.eliop.es">www.eliop.es</a>
EURORESINS ESPAÑA S.A.	<a href="http://www.euroresins.com">www.euroresins.com</a>
EVIC HISPANIA	---
FATRONIK - Fundación	<a href="http://www.fatronik.com">www.fatronik.com</a>
FECYT Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología	<a href="http://www.fecyt.es/">www.fecyt.es/</a>
FICO MIRROS S.A.	<a href="http://www.ficosa.com">www.ficosa.com</a>
FISINTEC Innovación Tecnológica	<a href="http://www.fisintec.com">www.fisintec.com</a>
FORD ESPAÑA S.A.	<a href="http://www.ford.es">www.ford.es</a>
FRAGARIA	---

FUNDICIONES DEL ESTANDA S.A.	<a href="http://www.estanda.com">www.estanda.com</a>
GADEA HERMANOS S.L.	<a href="http://www.gadeahermanos.es">www.gadeahermanos.es</a>
GAIKER-Fundación Centro Tecnológico	<a href="http://www.gaiker.es">www.gaiker.es</a>
GALVARPLAST IBÉRICA S.A.	---
GAMESA-Grupo	<a href="http://www.gamesa.es">www.gamesa.es</a>
GAS NATURAL SDG S.A.	<a href="http://www.gasnatural.com">www.gasnatural.com</a>
GENETRIX S.L.	<a href="http://www.genetrix.es">www.genetrix.es</a>
GENOMICA SAU	<a href="http://www.genomica.es">www.genomica.es</a>
GMV-Grupo	<a href="http://www.gmv.es">www.gmv.es</a>
GRIFOLS-Grupo	<a href="http://www.grifols.com">www.grifols.com</a>
GRUPO SPA Servicios y Proyectos Avanzados	<a href="http://www.grupospa.com">www.grupospa.com</a>
GTD Ingeniería	<a href="http://www.gtd.es">www.gtd.es</a>
GUASCOR	<a href="http://www.guascor.com/caste/home.htm">www.guascor.com/caste/home.htm</a>
HELI - TOOL	<a href="http://www.heli-tool.com">www.heli-tool.com</a>
HENKEL	<a href="http://www.henkel.es">www.henkel.es</a>
HP España	<a href="http://www.hp.com/country/es/es/welcome.html">www.hp.com/country/es/es/welcome.html</a>
IBERDROLA	<a href="http://www.iberdrola.com">www.iberdrola.com</a>
IBERNAMIBER Red de Nanotecnologías y Microsistemas	---
IBM ESPAÑA	<a href="http://www.ibm.com/es">www.ibm.com/es</a>
ICIO Instituto Catalán de Investigación Química	<a href="http://www.iciq.es">www.iciq.es</a>
IDEKO	<a href="http://www.ideko.es">www.ideko.es</a>
IHOBE S.A.	<a href="http://www.ihobe.es">www.ihobe.es</a>
IKAN KRONITEK S.L. contact.php	<a href="http://www.grupottt.com/grupottt/">www.grupottt.com/grupottt/</a>
IKERLAN Centro de investigaciones tecnológicas	<a href="http://www.ikerlan.es">www.ikerlan.es</a>
INABENSA Instalaciones Abengoa S.A.	<a href="http://www.inabensa.com">www.inabensa.com</a>
INASMET-Fundación	<a href="http://www.inasmet.es">www.inasmet.es</a>
INAUXA S.A. Industria Auxiliar Alavesa	<a href="http://www.inauxa.es">www.inauxa.es</a>
INDAS	<a href="http://www.indas.es">www.indas.es</a>
INDEX Servicios de Ingeniería S.L.	<a href="http://www.indexing.es">www.indexing.es</a>
INDRA	<a href="http://www.indra.es">www.indra.es</a>
INDUSTRIAS ANAYAK	<a href="http://www.anayak.es/pub/index.htm">www.anayak.es/pub/index.htm</a>
INDUSTRIES DEL TINT S.A.	---
INDUYCO Industrias y confecciones	<a href="http://www.induyco.es">www.induyco.es</a>
INEGA Instituto Energético de Galicia	<a href="http://www.inega.es">www.inega.es</a>
INGENASA Inmunología y Genética Aplicada	<a href="http://www.ingenasa.es">www.ingenasa.es</a>
INGENIERIA, DISEÑO Y ANALISIS, S.L.	---
INGENIERÍA E INDUSTRIAS BIOENERGÉTICAS S.L.	---
INNOVE VERDA	<a href="http://www.innoververda.com/home.htm">www.innoververda.com/home.htm</a>
INSALUD Hospital Clínico de Madrid	<a href="http://www.insalud.es">www.insalud.es</a>
INSTITUTO CATALÁN DE LA SALUD	<a href="http://www.gencat.net">www.gencat.net</a>
INTEGROMICS	<a href="http://www.integromics.com">www.integromics.com</a>
INTENEC Consorcio Tecnológico de Castilla y León para la innovación	<a href="http://www.intenec.com">www.intenec.com</a>
INVEMA-Fundación de investigación de la Máquina-Herramienta	<a href="http://www.invema.es">www.invema.es</a>
ISDEFE	<a href="http://www.isdefe.es">www.isdefe.es</a>
ISOFOTÓN	<a href="http://www.isofoton.es">www.isofoton.es</a>
ITE Instituto de Tecnología Eléctrica	<a href="http://www.itenergia.com">www.itenergia.com</a>
ITENE Instituto Tecnológico del Envase, embalaje y transporte	<a href="http://www.itene.com">www.itene.com</a>
ITP Industria de Turbo propulsores	<a href="http://www.itp.es">www.itp.es</a>
IZASA S.A.	<a href="http://www.izasa.es">www.izasa.es</a>
JOHNSON MATTEY CERAMICS	<a href="http://www.matthey.com">www.matthey.com</a>
KOIKE S.A.	<a href="http://www.koipe.es">www.koipe.es</a>



KRAFFT	<a href="http://www.krafft.es">www.krafft.es</a>
LABEIN - Fundación	<a href="http://www.labein.es">www.labein.es</a>
LABORATORIOS CUSI (Actualmente Laboratorios Alcon)	<a href="http://www.alconlabs.com">www.alconlabs.com</a>
LEIA-Fundación	<a href="http://www.leia.es">www.leia.es</a>
LIPOTEC S.A.	<a href="http://www.lipotec.com">www.lipotec.com</a>
MAIER S. COOP.	<a href="http://www.maier.es">www.maier.es</a>
MATGAS 2000	<a href="http://dracpixelhost.com/matgas">dracpixelhost.com/matgas</a>
MEDPLANT GENETICS S.L.	<a href="http://www.medplantgenetics.com">www.medplantgenetics.com</a>
METATRON LTD	---
MIGUEL CARRERA y Cía. Empresa del Grupo BETICO	<a href="http://www.betico.com">www.betico.com</a>
MONDRAGÓN CORPORACIÓN COOPERATIVA	<a href="http://www.mondragon.mcc.es">www.mondragon.mcc.es</a>
MUELLES CROM S.A.	<a href="http://www.muellescrom.es">www.muellescrom.es</a>
NANOBIOMATTERS	<a href="http://www.nanobiomatters.com">www.nanobiomatters.com</a>
NANOSPAIN Red Española de Nanotecnología	<a href="http://www.nanospain.org">www.nanospain.org</a>
NANOTEC ELECTRÓNICA S.L.	<a href="http://www.nanotec.es">www.nanotec.es</a>
NAVARRA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	<a href="http://www.piher-nacesa.com">www.piher-nacesa.com</a>
NECO	<a href="http://www.neco-ti.com">www.neco-ti.com</a>
NECSO	<a href="http://www.necso.es">www.necso.es</a>
NEWBIOTECHNIC S.A.	<a href="http://www.newbiotechnic.com/es">www.newbiotechnic.com/es</a>
NOVARTIS CONSUMER HEALTH	<a href="http://www.novartisconsumerhealth.es">www.novartisconsumerhealth.es</a>
NTA Energía	<a href="http://www.ntdaenergia.com">www.ntdaenergia.com</a>
OLIVER y BATLLE	<a href="http://www.oliverbatlle.es">www.oliverbatlle.es</a>
ONA ELECTROEROSIÓN	<a href="http://www.ona-electroerosion.com">www.ona-electroerosion.com</a>
PARQUE CIENTÍFICO DE MADRID	
Instituto de Nanotecnología	<a href="http://www.pcm.uam.es">www.pcm.uam.es</a>
PARQUE CIENTÍFICO DE BARCELONA	<a href="http://www.pcb.ub.es">www.pcb.ub.es</a>
PEDRO ROQUET	<a href="http://www.pedro-roquet.com">www.pedro-roquet.com</a>
PHANTOMS - Fundación	<a href="http://www.phantomsnet.net">www.phantomsnet.net</a>
PHARMAMAR	<a href="http://www.pharmamar.es">www.pharmamar.es</a>
PHARMEGEN	<a href="http://www.pharmagen.es">www.pharmagen.es</a>
PLASTIRE S.A.	<a href="http://www.plastire.es">www.plastire.es</a>
POLIBOL	<a href="http://www.polibol.es">www.polibol.es</a>
POLYMAT Institute for Polymer Materials	<a href="http://www.sc.ehu.es/powgеп99/polymat/homepage.html">www.sc.ehu.es/powgеп99/ polymat/homepage.html</a>
PREMO	<a href="http://www.premo.es">www.premo.es</a>
PROBISA	<a href="http://www.probisa.com">www.probisa.com</a>
PROTELSA	<a href="http://www.protelsa.net">www.protelsa.net</a>
PUNSA Punzonados Sabadell S.L.	<a href="http://www.punsa.com">www.punsa.com</a>
PYMER A	<a href="http://www.pymera.org">www.pymera.org</a>
RAMEM	<a href="http://www.ramem.com">www.ramem.com</a>
REPSOL PETRÓLEO	<a href="http://www.repsol-ypf.com">www.repsol-ypf.com</a>
RESINAS Y POLÍMEROS S.L.	---
ROBOTIKER - Fundación	<a href="http://www.robotiker.com">www.robotiker.com</a>
RUECKER IBÉRICA	---
SENER	<a href="http://www.sener.es">www.sener.es</a>
SENSIA S.L.	---
SIDSA	<a href="http://www.sidsa.com">www.sidsa.com</a>
SIEMENS	<a href="http://www.siemens.es">www.siemens.es</a>
SIMON S.A.	<a href="http://www.simon.es">www.simon.es</a>
SOLE S.L. Vidrios y Cristales Planos	<a href="http://www.gruposole.com">www.gruposole.com</a>
STARLAB	<a href="http://starlab.es">starlab.es</a>
TAMAG IBÉRICA S.L.	<a href="http://www.tamagiberica.com">www.tamagiberica.com</a>
TARABUSI S.A.(Actualmente dentro del grupo CIE Automotive)	<a href="http://www.ciautomotive.com">www.ciautomotive.com</a>
TECAL Centron de Tecnologías de Control de Calidad	<a href="http://www.tecal.es">www.tecal.es</a>

TÉCNICAS REUNIDAS	<a href="http://www.tecnicasreunidas.es">www.tecnicasreunidas.es</a>
TECNITEST INGENIEROS S.L.	<a href="http://www.tecnitest.com">www.tecnitest.com</a>
TECNOLOGÍA Y GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN	<a href="http://consultoria.tgi.es">consultoria.tgi.es</a>
TEKNIKER-Fundación	<a href="http://www.tekniker.es">www.tekniker.es</a>
TELEFÓNICA I+D	<a href="http://www.tid.es">www.tid.es</a>
TELETTRA ESPAÑA S.A. (Actualmente ALCATEL SESA)	---
TENCAS DE CASASECA S.L.	---
TINTS ENRINCH S.A.	---
TOLSA	<a href="http://www.tolsa.com">www.tolsa.com</a>
TRANS RIC LEVANTE	<a href="http://www.transric.com">www.transric.com</a>
TRIESA POLIAMIDAS	<a href="http://www.triesa.es">www.triesa.es</a>
TRW AUTOMOTIVE ESPAÑA S.L.	<a href="http://www.trw.com">www.trw.com</a>
TUDOR	<a href="http://www.tudor.es">www.tudor.es</a>
UNIMETRIK	<a href="http://www.unimetrik.es">www.unimetrik.es</a>
VERKOL	<a href="http://www.verkol.es">www.verkol.es</a>
VIMAC S.A.	<a href="http://www.vimac.es">www.vimac.es</a>
WATTPIC	<a href="http://www.wattpic.com">www.wattpic.com</a>

Fuente: Fundación Madri+d, Jaime Sánchez, "Nano: Nanotecnología en España". Informe elaborado para el proyecto Nanomat del 6o Programa Marco.

En colaboración con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Dirección General de Universidades e Investigación, Consejería de Educación,

Comunidad de Madrid. Madrid. Comisión Europea. 2005.

TABLA A.2.4

## Listado de Expertos Internacionales

### Participantes en el Forum: "Towards Multidisciplinary Interaction in the Design of Nano-Bio-Info-Cogno Devices", Barcelona 2005

**Jordi Aguiló.** Catedrático UAB.

**Salvador Barberá.** Secretario General de Política Científica y Tecnológica, Ministerio de Educación y Ciencia.

**Paraskevas Caracostas.** Director, Unit K2, European Commission.

**Elie Faroult.** Scientific Officer Unit K2, European Commission.

**Eduardo Fernández.** Instituto de Bioingeniería. Alicante, Spain.

**Lluís Ferrer.** Rector UAB.

**Emilio Fontela.** Decano Universidad Antonio de Nebrija y Presidente del grupo de expertos de la EU sobre 'Developing Foresight on Research and Higher Education Relation'.

**Françesc Gòdia.** Vicerector de Proyectos Estratégicos UAB.

**Francisco Ibañez.** Deputy Head of Unit, IST Programme, European Commission.

**Carlos Martínez.** Presidente CSIC.

**Ana Morato.** Technical Director, Fundación OPTI.

**Michael J Morgan.** EU Expert Panel on Converging Technologies.

**Alvaro Pascual-Leone.** Director de investigación en the Behavioral Neurology Unit of Beth Israel - Deaconess Medical Center y Profesor de Neurología en Harvard Medical School.

**Geoffrey Prentice.** Directorate of Engineering, National Science Foundation.

**Jesús Rodríguez-Cortezo.** Director General, Fundación OPTI.

**Francesc Serra.** Centro Nacional de Microelectrónica (CSIC).

**Carles Solà.** Conseller de Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya.

**Joan Trullén.** Secretario General de Industria, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

**Rosa Villa.** Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

### Participantes en el Workshop de Neurotecnología

**Eduardo Fernández.** Instituto de Bioingeniería, Universidad Miguel Hernández de Alicante.

**Vittorio Sanguineti.** Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Telematica (DIST), Università di Genova. (Italy)

**Carlos Botella.** Jefe Servicio Neurocirugía. Hospital General Universitario de Alicante.

**Francisco Pelayo.** Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores. Universidad de Granada.

**Francesc Perez-Murano.** Director del laboratorio de Nanofabricación. Centro Nacional de Microelectrónica.

**José María Tormos.** Institut Guttmann. Hospital de Neurorehabilitación. Barcelona.

**Iraida Loinaz.** Centro de Tecnologías Electroquímicas (CIDETEC).

**Xavi Navarro.** Medtronic España.

**Carles Guinovart.** F.E. Parkinson.

### Participantes en el Workshop de Genómica Médica

**Fernando Martín Sánchez.** Departamento de Informática Médica del Instituto de Salud Carlos III de Madrid.

**J. Jiménez.** (Profesor de mecánica de fluidos. E.T.S. Ingenieros Aeronáuticos. Madrid)

**Antonio Juárez.** Facultad de Biología. Departamento de Microbiología. Universidad de Barcelona.

**Annabel Fernández-Valledor.** Universidad de Barcelona.

**Julián Dorado,** Departamento de Información y Tecnologías de la Comunicación. Universidad de A Coruña, Facultad de informática.

**José María Carazo.** Investigador Científico del Centro Nacional de Biotecnología-CSIC.

**Iraida Loinaz.** Centro de Tecnologías Electroquímicas (CIDETEC)

### Participantes en el Workshop de Tecnologías de la Información y Ciencias Cognitivas

**José Millán.** IDIAP Research Institute, Martigny, Suiza.

**Guy Theraulaz.** Centre de Recherche sur la Cognition Animale, Toulouse, Francia.

**Yiannis Demiris.** Intelligent and Interactive Systems Group, Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London, Gran Bretaña.

**Ángel Rodríguez-Vázquez** de AnaFocus, S. A., Sevilla, España.

**Oscar Vilarroya** de la Unitat de Recerca en Neurociencia Cognitiva, IMPU, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.

### Expertos entrevistados en el marco del Forum

**Dolors Blasco.** Directora del Instituto de Ciencias del Mar, ICM (CSIC)

**Francesc Esteva.** Director del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial del CSIC.

**Emilio Gelpi.** Profesor de Investigación del CSIC y Director del Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona, IIBB (CSIC), asociado al Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi i Sunyer (IDIBAPS) del que es Vicepresidente de su Junta de Gobierno.

**Carles Miravittles.** Vicesecretario de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, miembro de la Academia Europea y miembro de muchas otras organizaciones científicas.

**Francisco Serra.** Director Del Centro Nacional de Microelectrónica de Barcelona, CNM (CSIC)

**Carme Torras.** Profesora de Investigación del Institut de Robòtica i Informàtica Industrial (CSIC-UPC).

**Juan José Villanueva.** Catedrático del departamento de Ciencias de la Computación de la UAB.

Promotor del Centro de Visión por Computador, del cual es el director desde su fundación el año 1994.

### Participantes en la elaboración del documento europeo (EC 2004)

**Kristine Bruland.** Department of History, University of Oslo. Norway

**Alfred Nordmann,** Institut für Philosophie, Technische Universität, Darmstadt; Adjunct Professor of Philosophy, University of South Carolina. Germany

**Jürgen Altmann,** Physicist and Peace Researcher, Universität Dortmund. Germany

**Daniel Andler,** Philosophy, Université de Paris-Sorbonne (Paris IV); Director of Cognitive Studies, Ecole Normale Supérieure. France

**Thomas Bernold,** Communication and Policy Consultant, Visiting Research Professor at the School of Public Policy, George Mason University. Switzerland

**Wolfgang Bibel,** Intellektik, Darmstadt University of Technology and University of British Columbia. Germany

**Jean-Pierre Dupuy,** Philosopher, Ecole Polytechnique, Paris, and Stanford University. France

**Donald Fitzmaurice,** Head of the Nanochemistry Group UCD; Chief Technology Officer N-Tera Group, Board/Advisor Draper Fisher Jurvetson. Ireland

**Emilio Fontela,** Universidad Autónoma de Madrid; Hon Prof of Economics, University of Geneva; Visiting Prof University of Seville; Chair of the Expert Group on Developing Foresight on Research/Higher Education Relation. Spain

**Thierry Gaudin,** Président de Prospective 2100, Ingénieur général des mines, Membre du Conseil Général des Mines, Author, Futurist. France

**Raoul Kneucker,** Ret. Director General Research & International Affairs, Austrian Federal Ministry of Education, Science and Culture; Director of the "Gallery of Research" of the Austrian Academy of Sciences. Austria

**Günter Küppers,** Physicist and Social Scientist, Institute for Science & Technology Studies (IWT), University of Bielefeld. Germany

**Eleonora Barbieri Masini,** Sociologist and Futurist, Gregorian University, Rome. Italy

**Ana Morato,** Technical Director of the Spanish Observatory of Industrial Technology Foresight, OPTI. Spain

**Michael J. Morgan,** Chief Executive (retired), The Wellcome Trust Genome Campus, Cambridge, UK

**Nebojsa Nakicenovic**, Head of the Transitions to New Technologies Project, IIASA; Professor of Energy Economics at the Technical University of Vienna. Austria

**Ian Pearson**, Futurologist, BTextact, Author. UK

**Darko Polsek**, School of Law, Univ of Zagreb, former Deputy Minister of Science and Technology. Croatia

**Gill Ringland**, CEO and Fellow, SAMI Consulting. UK

**Arie Rip**, Scientific Director: Graduate School of Science, Technology and Modern Culture; Head of Philosophy of Science and Technology, University of Twente. Netherlands

**Francoise Roue**, Inspector General, Ministry of Economy, Finance and Industry, MINEFI, Conseil General des Technologies de l'Information. France

**Ottilia Saxl**, Chief Executive, Institute of Nanotechnology. UK

**Jan Staman**, Directeur, Rathenau Instituut of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Netherlands

**Jean-Pol Tassin**, Neurobiologist, Director of Research INSERM, Collège de France. France

**Walter van der Velde** (to April 2004), former Director of Research at Starlab; CoDirector, AI-Lab VUB; Contributor, EC's Vision Book Project; Scientific Director, DISC. Belgium

### Participantes en la elaboración del documento Americano (NSF 2002)

**Mihail Roco**: NSF, National nanotechnology initiative. (nanotecnologo)

**Sims Bainbridge**: Division for Information and Intelligent Systems, National Science Foundation.

**P.Bond**. U.S. Department of Commerce, Technology Administration,

**J. Canton**: Institute for Global Futures, 2084 Union Street, San Francisco

**MN. Dastoor**. Senior Advisor to the Associate Administrator Office of Aerospace Technology, University of California, Microbiology, immunology NASA

**N.Gingrich**: American Enterprise Institute

**M. Hirschbein**: Senior Advisor to the Chief Technologist, Ingeniero mecánico, NASA

**C.H. Huettnner**: OSTP White House

**P. Kuekes**: Hewlett-Packard Laboratories Quantum Structures Research Initiative Department (Physic)

**H. Watson**: Muchas entradas imposible saber quien es.

**S. Venneri**: Center for Advanced Computational Technology, University of Virginia, NASA-Langley, USA.

**R.S. Williams**: Hewlett-Packard Laboratories degree in Chemical Physics

**R. Burger**: Dr. Burger earned B.Sc. and M.Sc. degrees in electrical engineering from Yale University, and a Ph.D. in digital imaging from Cambridge University, MIT media Lab Europe.

**R. Golledge**: Department of Psychology, University of California at Santa Barbara, Santa Barbara

**R.E. Horn**: Visiting Scholar, Stanford. University

**J.Watson**: Acting Deputy Director National Heart, Lung, and Blood Institute National Institutes of Health.

**J.Sphorer**: IBM, CTO Venture Capital Relations.

**B.M Pierce**: Raytheon Company, (defensa)

**Cherry A. Murray**: Lucent Technologies, physical sciences research vice president

**S. Turkle**: Massachusetts Institute of Technology, professor of the sociology of science. Ph.D. in Personality Psychology and Sociology from Harvard University.

**G. Yonas**: Sandia National Laboratories, Sandia Principal Scientist, defensa,

**J.G Turnley**: Galisteo Consulting Group. President, Ph.D. in Cultural Anthropology (Cornell 1983). Miembro de Sandia.

**J.Pollack**: Brandeis University, Director. Department of Computer Science

**W.Robinett**: designer of interactive computer graphics software, U. North Carolina. (diseño videojuegos y nanomanipulacion.)

**L.T. Wilson**: IEEE, (American Institute of Electrical Engineers),

**P. Connoly**: University of Strathclyde, (Glasgow) dept. Bioengineering, PhD in Electrical and Electronic Engineering.

**M.Heller:** University of California, San Diego. (Professor, Bioengineering and Electrical and Computer Engineering).

**J. Bonadio:** University of Washington, Departments of Bioengineering M.D

**P.C. Johnson:** Tissue Informatics Inc, MD

**J.M Loomis:** University of California at Santa Barbara, Department of Psychology

**B. Chance:** University of Pennsylvania, biochemistry and molecular biophysics graduate group. (Biologist)

**K.A: Kang:** University of Louisville, Department of Chemical Engineering.

**E.G. Rill:** University of Arkansas for Medical Sciences.

**G.Wolbring:** University of Calgary, Department of Physiology and Biophysics

**R.R. Llinas:** Department of Physiology and Neuroscience, NEW YORK UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE

**V. Makarov:** NEW YORK UNIVERSITY SCHOOL OF MEDICINE, Rubicon Genomics, Inc.

**John Sargent:** Senior Policy Analyst, Office of Technology Policy, Technology Administration, UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

**M.A.L Nicoletis:** Duke University Medical Center. (USA)

**A.P. Lee:** University of California at Irvine. Dept Biomedical Engineering and aerospace engineering.

**L.Cauler:** Associate Professor in the Neuroscience Program at the University of Texas at Dallas. (Psicologo, biologo)

**A.Penz:** University of Texas at Dallas

**A.T. Pope:** Engineering Psychologist, NASA, Langley Research Center

**P. Rubin:** Director of the [www.nsf.gov/sbe/bcs](http://www.nsf.gov/sbe/bcs) Division of Behavioral and Cognitive Sciences at the [www.nsf.gov](http://www.nsf.gov) National Science Foundation

**W.A. Wallace:** Professor Department of Decision Sciences and Engineering Systems.

**J. Banfield:** Mineralogy, environmental geochemistry, geomicrobiology, and nanogeoscience, University of California, Berkeley

**Tina Masciangioli:** National Academy of Science

**J.S. Albus:** Senior NIST Fellow, Intelligent Systems Division, Manufacturing Engineering Laboratory, National Institute of Standards and Technology

**K. Carley:** professor at the Institute for Software Research International in the School of Computer Science at Carnegie Mellon University

**Gary W. Strong:** National Science Foundation

**Delores M Etter:** United States Naval Academy, Electrical Engineering Department

**Michael Goldblatt:** Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), director, defense science office.

**James Munday:** Naval Research Laboratory, Ph.D. in Solid State Physics

**Tony Fainberg:** Defense Threat Reduction Agency, Department of Defense

**Robert Asher:** Sandia National Laboratories, PhD in Electrical Engineering

**Clifford Lau:** Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Research, President, Nanotechnology Council, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and former Director of Corporate Programs, Office of Naval Research (ONR)

**Michael E. Gorman:** University of Virginia, department of systems and information engineering.

**W.M. Tolles:** Consultant, Naval Research Laboratory, Washington

**Yaneer Bar-Yam:** New England Complex Systems Institute

**Daniel L. Akins:** City University of New York, Professor of Chemistry

**Avis H. Cohen:** University of Maryland, Department of Biology and [www.life.umd.edu/nacs/](http://www.life.umd.edu/nacs/) Neuroscience and Cognitive Science, and The [www.isr.umd.edu/](http://www.isr.umd.edu/) Institute of Systems Research.

**James G. Batterson:** NASA Langley Research Center, Head of the Dynamics and Control Branch (DCB) in the Flight Dynamics and Control Division

**Judith Klein-Seetharaman:** Carnegie Mellon University, assistant professor of pharmacology at the University of Pittsburgh and research scientist at Carnegie Mellon's Language Technologies Institute (LTI)

**Raj Reddy:** Carnegie Mellon University, professor of Computer Science and Robotics.

### Participantes en la elaboración del documento canadiense (STDF, 2005)

**Lee Baudette** - Environment Canada  
**William Coderre** - Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada  
**Arthur Cordell** - Industry Canada  
**Jennifer Davidson** - University of Ottawa  
**Walter Dermott** - CytoBioTechnics Inc  
**Nicole Dusyk** - Environment Canada  
**Susie ElSaadany** - Health Canada  
**Philip Fleming** - Industry Canada  
**Andra Forney** - Youth Science Foundation  
**Sandra Gabler** - Canadian Food Inspection Agency  
**Gary Glavin** - Health Canada  
**Neil Gordon** - Canadian Nanobusiness Alliance  
**Geoffrey Gurd** - Health Canada  
**Peter Hall** - Agriculture and Agri-food Canada  
**David Harries** - National Research Council  
**Mary Alice Hefford** - Health Canada  
**Ole Hendrickson** - Environment Canada  
**Harry Hirvonen** - Natural Resources Canada  
**Robert Hoffman** - Robbert Associates  
**Lise Hughes** - National Research Council  
**Richard Isnor** - National Research Council  
**Bill Jarvis** - Environment Canada  
**Henry Lear** - Fisheries and Oceans Canada  
**Denise Leblanc** - National Research Council  
**André Lévesque** - Agriculture and Agrifood Canada  
**Tom Malis** - Natural Resources Canada  
**Hassan Masum** - Carleton University  
**Bert McInnis** - Robbert Associates  
**Terry McIntyre** - Environment Canada  
**Don McKay** - Meteorological Service of Canada  
**Richard Miron** - Youth Science Foundation  
**Ingar Moen** - National Defence  
**Hamid Mohamed** - Natural Resources Canada  
**David Moorman** - SSHRCC  
**Maria Nazarowec** - White - Canadian Food Inspection Agency  
**Milind Pimprikar** - CLS3  
**Michel Poulin** - Canadian Museum of Nature  
**Laurian Robert** - Agriculture and Agri-Food Canada  
**Shane Roberts** - Office of Infrastructure Preparedness and Emergency Planning  
**Keith Seifert** - Agriculture and Agri-food Canada  
**Benoit Simard** - National Research Council Canada  
**Jas Singh** - Agriculture and Agri-food Canada  
**Arnold Smith** - National Research Council  
**Darlene Smith** - Fisheries and Oceans Canada  
**Bill St Arnaud** - Canarie  
**Harold Stocker** - National Defence  
**Roman Szumski** - MDS  
**Winston Tam** - National Research Council  
**Peggy Tsang** - Fisheries and Oceans Canada  
**John Tse** - National Research Council  
**Peter Turney** - National Research Council  
**Laurie Wells** - Natural Resources Canada  
**Kenneth White** - Acton White Associates  
**Norm Willis** - The Norm Willis Group

Fuente: Jordi Aguiló, Amalia Duch, Gemma Gabriel, José Luis Viñas, Tecnologías Convergentes NBIC, Situación y perspectiva 2005, CNM-IBM, IIBB, IIA, Consejo Superior de investigaciones Científicas, Noviembre 2005.